

**UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL**

**LE CLIMAT AGRICOLE AU SAHEL TUNISIEN  
ET LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES**

**MÉMOIRE  
PRÉSENTÉ  
COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN GÉOGRAPHIE**

**PAR  
MAHER MOHAMED**

**Février 2009**

# UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

Service des bibliothèques

## Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement n°8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

## DÉDICACE

*À la mémoire de mon père MOHAMED SALAH:*

*Qui a voulu lire mon travail, mais...*

*Qui a souhaité commenter ce labeur, mais...*

*Qui a péri entre mes bras le 23/10/ 2007 à 5h 40' a.m, sans qu'il le fasse...*

## REMERCIEMENTS

Ce travail rentre dans le cadre d'un projet de fin d'études de maîtrise en géographie à l'Université du Québec à Montréal (UQAM) et a pour objectif l'évaluation des effets des changements climatiques sur l'exploitation et la production agricole au Sahel tunisien. Le présent mémoire constitue un aboutissement d'une période pleine d'événements, de découvertes, et d'émotions. Tout au long du parcours de la préparation de cette recherche, j'ai eu la chance de retrouver de différentes personnes dont leurs directives intarissables et leur écoute ont constitué un soulagement indispensable à mes efforts.

Tout d'abord, je tiens à remercier ma famille, pour m'avoir soutenu durant cette période et m'avoir permis d'atteindre mon objectif : le défunt papa BELKHIR MOHAMED S., ma mère MEKKIA ainsi que le reste des membres de ma famille FATMA, MOUCHIR, MEHA et MARWEN.

Je remercie particulièrement Mr KHALIFA NACER le président de l'Union Local de l'Agriculture et de la Pêche à Chorbèn pour l'aide et le soutien accordés.

Je voudrais ici exprimer ma reconnaissance à Mr MTIR MONGI (Direction Régionale de l'Agriculture de Sousse) pour la générosité et l'appui malgré les obstacles qui nous ont été opposés par la quasi-totalité des services concernés et consultés. Je désirerais aussi exprimer ma gratitude à CHAHBOUB KAMEL pour m'avoir encouragé et aidé à franchir les difficultés.

Enfin qu'il me soit permis d'exprimer mes sincères remerciements aussi au Professeur BERRAJA MOHAMED, pour m'avoir fait l'honneur de diriger ma recherche et de m'avoir encadré, car ce travail n'aurait pu être réalisé sans ses critiques judicieuses et fructueuses qui ont beaucoup participé à l'amélioration de ce travail et aussi pour sa patience au cours de son élaboration, il avait orienté ma recherche et m'a prodigué temps, conseils et documentations à fin de la mener à bien. J'ai beaucoup appris de lui et des remerciements ne sauraient être à la hauteur de mon respect et de ma gratitude envers lui.

## TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	iii
LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX .....	viii
LISTE DES ABRÉVIATIONS ET DES ACRONYMES .....	xi
RÉSUMÉ.....	xiii
INTRODUCTION .....	1
Problématique.....	4
Les objectifs.....	12
Méthodologie.....	13
 CHAPITRE I :	
ÉTUDE DU MILIEU PHYSIQUE ET HUMAIN.....	16
 1    Le milieu physique et ses caractéristiques.....	16
1-1  Localisation géographique.....	16
1-2  La topographie de la région.....	20
1-3  Le climat de la région.....	22
1-4  Étude de sol.....	40
1-5  Formation végétale.....	41
2    Le milieu humain .....	42
2-1  Historique des mises en valeur successives du sol.....	42
3    Les différents aménagements moderne et traditionnel à mise en valeur .....	46
3-1  L'organisation sociopolitique traditionnelle dans le milieu rural au Sahel tunisien .....	46
3-1-1  Les aspects fonciers.....	47
3.1.1.1  La réforme agraire dans les périmètres publics irrigués.....	48
3.1.2  Les paysages agricoles. ....	50

## CHAPITRE II :

### LES SYSTÈMES D'EXPLOITATION ET DE PRODUCTION.....55

1	Les systèmes traditionnels.....	55
1-1	Les techniques suivies et les pratiques adaptées, en vue d'une gestion efficace de l'eau pour une culture pérenne. ....	57
1-2	Les proportions du « <i>Meskat</i> » et l'efficacité du système. ....	60
2	Les systèmes modernes .....	62
2-1	Les origines essentielles des eaux d'irrigation. ....	63
3	La production agricole. ....	73
3-1	Les cultures en pluviale. ....	78
3-1-1	Arboriculture.....	78
3-2	Les cultures en irrigué.....	81

## CHAPITRE III :

### ÉVALUATION DES RESSOURCES DU CLIMAT AGRICOLE ET LES CONTRAINTES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES.....87

1	Évaluation des ressources du climat agricole du Sahel tunisien.....	88
1-1	L'indice hydrothermal .....	88
1-2	La répartition des sommes des températures actives dans la région du Sahel. ....	93
1-3	Les périodes d'accroissement des produits agricoles.....	96
2	Les contraintes des changements climatiques et problèmes d'agriculture.....	99
3	Les contraintes humaines.....	108
3-1	La dégradation des terres dans les zones arides de la région.....	108
3-2	La surexploitation des nappes aquifères côtières.....	109
3-3	La hiérarchisation des différents paysages.....	111

## CHAPITRE IV :

### LES PISTES DE SOLUTIONS POSSIBLES.....114

1	Cadre législatif. ....	114
1-1	La législation sur la conservation des sols.....	114
1-2	La législation sur les eaux : Code des eaux.....	115
2	Cadre institutionnel. ....	116
2-1	Les organismes et les institutions concernés.....	117
3	Les méthodes et les options d'adaptation possibles, visant à limiter les effets des changements climatiques et de la sécheresse au Sahel.....	118
3-1	Mobilisation de ressources hydriques non conventionnelles dans la région.....	120
4	Mesures de conservation du sol de l'érosion hydrique et éolienne.....	123
	Les mesures proposées.....	123
4-1	Les mesures préventives.....	123
4-2	Les mesures curatives.....	124
4-3	Les mesures protectrices.....	124
5	Recommandations relatives aux pratiques culturelles.....	124
5-1	La lutte contre l'érosion.....	125
5-2	Les brise-vents.....	126
6	Amélioration des conditions de vie de la population.....	127
7	Formulation d'un plan de gestion du programme de contrôle de l'érosion et de la désertification.....	127
	<b>Recommandations générales.....</b>	<b>128</b>
	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>129</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>135</b>
	<b>ANNEXES.....</b>	<b>143</b>

## LISTE DES FIGURES

<b>FIGURE 1.1:</b> La localisation de la région du Sahel Tunisien.....	17
<b>FIGURE 1.2:</b> Le découpage administratif de la région du Sahel.....	19
<b>FIGURE 1.3:</b> Carte topographique du Sahel tunisien.....	21
<b>FIGURE 1.4 :</b> Températures moyennes des stations des délégations côtières du Sahel(Est) pour les décennies 1970/1980 et 1995/2005.....	25
<b>FIGURE 1.5 :</b> Températures moyennes des stations des délégations sud- Ouest du Sahel pour les décennies 1970/1980 et 1995/2005.....	26
<b>FIGURE 1.6 :</b> Carte des zones bioclimatiques du Sahel : 1970/1980.....	28
<b>FIGURE 1.7 :</b> Carte des zones bioclimatiques du Sahel : 1995/2005.....	29
<b>FIGURE 1.8 :</b> Pluviométries moyennes des délégations côtières du Sahel(Est) pour les décennies 1970/1980 et 1995/2005.....	31
<b>FIGURE 1.9:</b> Pluviométries moyennes des délégations sud-ouest du Sahel(Est) pour les décennies 1970/1980 et 1995/2005.....	32
<b>FIGURE 1.10:</b> Courbes et histogrammes des valeurs thermiques et pluviométriques dans la zone Est du Sahel.....	34
<b>FIGURE 1.11:</b> Courbes et histogrammes des valeurs thermiques et pluviométriques dans la zone sud-ouest du Sahel.....	35
<b>FIGURE 1.12 :</b> La carte agricole du Sahel tunisien.....	51
<b>FIGURE 2.1 :</b> Carte du transfert de l'eau des zones de production vers les zones de consommation.....	64
<b>FIGURE 2.2 :</b> Carte des nappes phréatiques au Sahel.....	66
<b>FIGURE 2.3:</b> Carte des lacs collinaires au Sahel.....	68
<b>FIGURE 2.4:</b> Carte des périmètres irrigués au Sahel.....	71
<b>FIGURE 2.5:</b> Carte des arboricultures en pluviale au Sahel.....	79
<b>FIGURE 2.6:</b> Carte des arboricultures en irriguée au Sahel.....	82
<b>FIGURE 2.7:</b> Carte des cultures maraîchères en irriguée au Sahel.....	83
<b>FIGURE 3.1:</b> Carte des zones menacées par l'inondation au Sahel.....	103



## LISTE DES TABLEAUX

	Page
<b>TABLEAU 1.1:</b> Données socio-économiques des gouvernorats du Sahel tunisien.....	18
<b>TABLEAU 1.2:</b> Les caractéristiques bioclimatiques des gouvernorats du Sahel.....	22
<b>TABLEAU 1.3:</b> Tableau comparatif des températures moyennes des stations côtières du Sahel pour les décennies 1970/1980 et 1995/2005.....	25
<b>TABLEAU 1.4:</b> Tableau comparatif des températures moyennes des stations sud-ouest du Sahel pour les décennies 1970/1980 et 1995/2005.....	26
<b>TABLEAU 1.5 :</b> Tableau comparatif des pluviométries moyennes des délégations sud-ouest du Sahel pour les décennies 1970/1980 et 1995/2005.....	30
<b>TABLEAU 1.6 :</b> Tableau comparatif des pluviométries moyennes des délégations sud-ouest du Sahel pour les décennies 1970/1980 et 1995/2005.....	31
<b>TABLEAU 1.7 :</b> Évapotranspiration potentielle de la zone côtière (en mm).....	37
<b>TABLEAU 1.8 :</b> Évapotranspiration potentielle de la zone sud-ouest (en mm).....	38
<b>TABLEAU 1.9 :</b> Direction mensuelle du vent dans la région du Sahel.....	40
<b>TABLEAU 1.10:</b> Évolution des superficies équipées en économie d'eau.....	53
<b>TABLEAU 2.1 :</b> Les ressources en eau de la région du Sahel tunisien.....	65
<b>TABLEAU 2.2 :</b> Les ressources hydrauliques dans la région du Sahel.....	67
<b>TABLEAU 2.3 :</b> Relations entre les types de ressources et usages sectoriels de l'eau .....	70
<b>TABLEAU 2.4 :</b> Bilan pour les céréales en sec.....	74
<b>TABLEAU 2.5 :</b> Rendements des oliviers en fonction de la pluviométrie.....	75
<b>TABLEAU 2.6 :</b> Bilan pour les melons, tomate et piment en fonction de la pluviométrie.....	75
<b>TABLEAU 2.7:</b> Bilan pour les fèves, pomme de terre et blé d'hiver en fonction de la pluviométrie.....	76
<b>TABLEAU 2.8 :</b> Bilan pour les melons précoces, piment, maraîchage d'été, blé et piment d'été en fonction de la pluviométrie.....	76
<b>TABLEAU 2.9 :</b> Bilan pour les oliviers irrigués, arboriculture, olivier et pastèque fonction de la pluviométrie .....	77

<b>TABLEAU 2.10 :</b>	Production d'huile d'olive au Sahel tunisien pour la période 1993/2001.....	78
<b>TABLEAU 2.11 :</b>	Valeurs des rendements oliviers retenus pour les calculs de Productivité.....	80
<b>TABLEAU 2.12 :</b>	Indices d'évolution des productions maraichères pour la période 1994/1999.....	84
<b>TABLEAU 2.13 :</b>	Rendements retenus pour les calculs de productivité.....	84
<b>TABLEAU 2.14 :</b>	L'agriculture du Sahel en chiffres 2005.....	85
<b>TABLEAU 3.1 :</b>	Les indices hydrothermaux dans la zone Est du Sahel pour la période 1970/1980.....	91
<b>TABLEAU 3.2 :</b>	Les indices hydrothermaux dans la zone Est du Sahel pour la période 1995/2005.....	92
<b>TABLEAU 3.3 :</b>	Les indices hydrothermaux dans la zone Sud-ouest du Sahel pour la période 1970/1980.....	92
<b>TABLEAU 3.4 :</b>	Les indices hydrothermaux dans la zone Sud-ouest du Sahel pour la période 1995/2005 .....	93
<b>TABLEAU 3.5 :</b>	Les températures actives dans la zone des délégations de l'Est pour la période 1995/2005.....	94
<b>TABLEAU 3.6 :</b>	Les températures actives dans la zone des délégations du Sud-est pour la période 1995/2005.....	95
<b>TABLEAU 3.7 :</b>	Somme des températures actives favorables pour quelques récoltes dans la région du Sahel.....	95
<b>TABLEAU 3.8 :</b>	Tableau récapitulatif des caractéristiques de la région.....	96
<b>TABLEAU 3.9 :</b>	Durée des cultures en irriguée (en plein air).....	97
<b>TABLEAU 3.10 :</b>	Récapitulatif des caractéristiques hydrothermales des produits agricoles au Sahel.....	98
<b>TABLEAU 3.11 :</b>	Récapitulatif des contraintes majeures des changements climatiques..	107
<b>TABLEAU 3.12 :</b>	Menaces sur les principaux écosystèmes naturels et agricoles.....	110
<b>TABLEAU 3.13 :</b>	Problématiques dans les systèmes agraires.....	112
<b>TABLEAU 3.14 :</b>	Modes d'exploitation des systèmes agraires.....	112
<b>TABLEAU 4.1 :</b>	Tarif de l'eau potable (2001).....	130

**ANNEXE :**

<b>FIGURE I . I :</b>	Nappes souterraines de la Tunisie.....	144
<b>TABLEAU II. I :</b>	Thèmes et sous thèmes du guide d'entrevue.....	146
<b>TABLEAU II.II :</b>	Modes d'exploitation des systèmes agraires.....	146
<b>TABLEAU II.III :</b>	Problématiques dans les systèmes agraires.....	147
<b>TABLEAU II. IV :</b>	Les lois et les décrets relatifs à l'exploitation et à la gestion des ressources en eau.....	148

## LISTE DES ABRÉVIATIONS ET DES ACRONYMES

<b>AIC :</b>	Associations d'Intérêt Collectif pour la Gestion de l'Eau
<b>ANER :</b>	Agence Nationale des Énergies Renouvelables
<b>ANPE :</b>	Agence Nationale de Protection de l'Environnement
<b>APAL :</b>	Agence pour la protection des aires littorales.
<b>CD :</b>	Comités de développement
<b>CES :</b>	Centre d'étude du sol.
<b>CITET :</b>	Centre International des Technologies de l'Environnement de Tunis.
<b>CNDD :</b>	Commission Nationale de Développement Durable
<b>CNT :</b>	Centre National de Télédétection
<b>CRA :</b>	Centres de rayonnement agricole
<b>CRDA :</b>	Commissariats régionaux de développement agricole
<b>CSA :</b>	Coopératives de services agricoles.
<b>CTV :</b>	Cellules territoriales de vulgarisation
<b>DAER :</b>	Direction de l'aménagement de l'espace rurale
<b>DAVO :</b>	Direction de l'aménagement et de la valorisation des ouvrages
<b>DEST :</b>	Direction des études et suivi des travaux
<b>DGACTA:</b>	Direction Générale de l'Aménagement et de la Conservation des Terres Agricoles.
<b>DGRE :</b>	Direction régionale des Ressources en Eau
<b>DPH :</b>	Domaine public hydraulique
<b>DS :</b>	Direction des sols
<b>ENIT :</b>	École Nationale d'Ingénieurs de Tunis
<b>ETP :</b>	Évapotranspiration potentielle
<b>ETR :</b>	Évapotranspiration réelle
<b>FAO:</b>	Food and Agriculture Organization.
<b>FIDA :</b>	Fonds international de développement agricole
<b>GDA :</b>	Groupement de développement de l'agriculture

<b>GIC :</b>	Groupements d'intérêt collectif.
<b>GIH :</b>	Groupes d'intérêt hydraulique.
<b>INAT :</b>	Institut National Agronomique de Tunis
<b>INM :</b>	Institut National de la Météorologie
<b>INS :</b>	Institut national de la statistique
<b>INRAT :</b>	Institut national de la recherche agronomique de Tunisie
<b>IPCC:</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>MAGICC:</b>	Model for the Assessment of Greenhouse gas Induced Climate Change
<b>MARH :</b>	Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques
<b>MEDD :</b>	Ministère de l'Environnement et du Développement Durable.
<b>NEPAD :</b>	Le Nouveau Partenariat pour le Développement de l'Afrique
<b>ONAS :</b>	Office national de l'assainissement
<b>SIFOP :</b>	Système de l'information forestier et pastoral
<b>SIG :</b>	Système d'information géographique.
<b>SMSA :</b>	Sociétés mutuelles de service agricole.
<b>SONEDE :</b>	Société Nationale de l'Exploitation et de la Distribution des Eaux.
<b>UNESCO :</b>	Organisation des Nations Unies de l'Éducation, des Sciences et de la Culture.

## RÉSUMÉ

Au 20<sup>e</sup> siècle, la température moyenne à la surface de la Terre a augmenté de 0,6°C. L'essentiel du réchauffement a été constaté en deux périodes, à savoir 1910 - 1945 et 1976 - 2000. Depuis qu'on a commencé à tenir des relevés en 1961, les années 1990 ont été la décennie la plus chaude et 1998 l'année la plus ardente<sup>1</sup>.

Selon les rapports d'évaluation, des changements climatiques futurs devraient se traduire par une poursuite du réchauffement de la planète, par la modification des régimes et du volume de précipitations, et par une augmentation de la fréquence et de l'intensité de certains phénomènes climatiques extrêmes.

Les pays qui seront touchés fortement par l'effet de serre sont ceux possédant un PIB annuel moyen et faible, donc des pays pauvres dont les options de développement économique sont limitées et basées sur l'exploitation de l'eau, le secteur prioritaire pour promouvoir l'agriculture et l'agro-industrie en vue de subvenir aux besoins de leurs populations et obtenir des revenus de devises pour financer le développement économique.

La situation actuelle des ressources en eau et en sol, et de leurs usages en Tunisie présente des enjeux qui sont communs aux autres régions du bassin méditerranéen : des ressources limitées et largement exploitées pour répondre à la croissance des besoins, le recours accru aux ressources non conventionnelles, une situation de concurrence entre usages sectoriels, une marchandisation croissante des ressources, et des conditions climatiques contraignantes qui viennent renforcer les tensions notamment autour de l'eau.

Face aux risques de déficit en eau et à la nécessité d'un développement économique et social équilibré, ces caractéristiques, parmi d'autres, font de la région du Sahel tunisien un cas d'étude exemplaire des difficultés que pose la gestion intégrée de l'eau. Celle-ci doit prendre en compte les différentes sources d'approvisionnement ainsi que les différents usages associés, et donc l'identification des territoires pertinents pour cette gestion, compte tenu des relations amont-aval naturelles et artificielles d'une part, et des cohérences institutionnelles et

---

<sup>1</sup> INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, (IPCC), (<http://ipcc.ch/pdf/assessment-report/>). Page consultée le 25/12/2007.

sociales d'autre part. Ce travail vise à déterminer les effets des changements climatiques à venir sur un secteur capital de l'activité humaine (l'agriculture). Ce secteur, à la croisée de deux thématiques centrales, l'économie et l'environnement, représente un sujet d'étude particulièrement intéressant; il est d'autant plus intéressant que sa dépendance vis-à-vis du climat est très forte.

#### **LES MOTS CLÉS :**

Adaptation, Changements climatiques, Érosion, Sécheresse, Écologie, Dégradation du sol, Aridité, Développement, Ressource hydrique, Eaux non conventionnelles, Accompagnement technique.

## INTRODUCTION

Consciente du rôle important des effets négatifs des changements climatiques sur le biotope et particulièrement sur l'agriculture, la Tunisie a porté durant plus de trois décennies un grand intérêt à toutes les actions menées dans le cadre de la préservation des ressources en sols et en eaux dans les régions touchées par la sécheresse et l'aridité, etc., et la gestion intégrée des ressources en eau dans les zones arides et semi-arides du pays.

Cet intérêt accru s'est traduit par la publication de diverses études et rapports touchants à plusieurs aspects de l'hydrologie et de l'hydrogéologie et convenant aux objectifs et aux projets de l'État, de la FAO, FIDA et UNESCO, etc. dont les thèmes sont: l'évolution des ressources en eau dans les zones arides et semi-arides, la gestion des ressources en eau aux fins de développement durable dans ces zones, et les moyens de faire face à la pénurie d'eau et les nouvelles adaptations des activités agricoles en regard des changements climatiques et des conflits d'usage.

De ce fait, cette stratégie est un outil qui a permis d'alerter les différentes structures concernées par la sécheresse afin de prendre toutes les précautions et les dispositions nécessaires et en temps opportun; mais elle demeure actuellement très loin d'être en mesure de satisfaire les attentes et les prévisions des différents acteurs et exploitants pour limiter les effets de ces aspects sur l'exploitation agricole notamment dans la région du Sahélienne.

C'est à partir de cette réalité que je suis parti dans ma recherche, dont l'objectif est de développer une compréhension des acteurs propres aux facteurs de l'exploitation agricole dans la région du Sahel tunisien face aux aspects des changements climatiques, de connaître les processus de la gestion des enjeux et d'acquérir une démarche opérationnelle plus dynamique pour étudier cette problématique. Mon objectif est de mieux connaître les



problèmes qui se posent à l'agriculture dans cette région en rapport avec les impacts des changements climatiques qui s'accroissent de jour en jour. Il s'agit donc d'étudier l'impact des différents facteurs d'adaptation et de réussite possible.

Les prévisions de l'INM et du MARH, fondées sur les actuels changements climatiques font ainsi état de risques importants sur les systèmes agricoles et les modes d'exploitation dans cette région. Le modèle MAGICC <sup>2</sup>, prévoit en effet un réchauffement moyen de l'ordre de 1°C entre 2000 et 2020 et une perturbation des régimes pluviométriques avec une tendance à l'abaissement, de l'ordre de 5 à 10 %. A long terme, la température pourrait augmenter de 3°C d'ici 2050, alors que les précipitations diminueraient de 10 à 30% d'ici 2050, ce qui va transformer ces zones arides en zones hyperarides et celles semi-arides en zones arides dans cette région.

Les ressources en terres arables productives dans la région d'étude (le Sahel tunisien) subissent les effets du climat, de la sécheresse et de l'érosion, ce qui ralentit les possibilités de l'augmentation du rendement, alors que le développement socio-économique et l'accroissement de la population nécessitent au contraire une production plus élevée sur les plans quantitatif et qualitatif. La protection et la gestion des ressources en eau et en sol sont primordiales dans toutes les actions de développement. Quant au milieu rural, il est déterminé par une forte densité de population, une activité agricole extensive à faibles moyens et à des exploitations traditionnelles.

L'utilité d'intervenir a incité la mise en œuvre des projets agricoles afin d'assurer le développement durable dans toutes les régions du pays et en particulier au Sahel.

La région du Sahel ne bénéficie pas de ressources en eau et en sol favorables nécessaires pour subvenir aux besoins du développement économique et d'une population en augmentation. En plus, cette zone dispose d'un écosystème fragile du fait des conditions climatiques caractérisées par la torréntialité et l'irrégularité des pluies, et par la fréquence

---

<sup>2</sup> MAGIC : C'est un modèle de simulation de changement climatique appliqué au Maghreb, estime un réchauffement de l'ordre de 1°C entre 2000 et 2020 et une perturbation des régimes pluviométriques.

des vents violents.

Le Sahel tunisien est une des plus importantes zones agricoles et touristiques du pays, il abrite trois gouvernorats (Sousse, Monastir et Mahdia). Les aménagements récents pour la collecte des eaux de ruissellement dans toute la région et les techniques culturales adaptées aux milieux arides et semi-arides (grand espacement des arbres, labour superficiel continu...), ont favorisé le développement particulier de l'oléiculture. Au sein de cette oléiculture adaptée ces dernières décennies aux événements climatiques extrêmes (inondations et sécheresses, etc.) s'est bien développée récemment une agriculture irriguée qui procure un revenu régulier quelle que soit l'aridité climatique.

La majeure partie de cette région se caractérise par une aridité visible qui se définit par la rareté et l'irrégularité des averses et l'agressivité des vents et des pluies... Cette aridité est aussi accentuée par un mode d'exploitation généralement inapproprié des agrosystèmes et par une surexploitation des écosystèmes. L'association entre les techniques d'exploitation des terres, les ressources en eau et le sol des terrains s'exprime spatialement par deux zones agroécologiques et bioclimatiques homogènes :

- Zone côtière à l'Est
- Zone intérieure au sud-ouest

Cette vue globale ne traduit pas précisément la réalité du paysage qui diffère à l'intérieur d'une même région naturelle. C'est ainsi que cette région peut se subdiviser en deux sous régions bien particulières (Est semi-aride et sud-ouest aride), pour chaque une d'entre elles ses propres caractéristiques bioclimatiques.

## **PROBLÉMATIQUE :**

## **CADRE THÉORIQUE ET CONCEPTUEL :**

L'insécurité alimentaire qui affecte la Tunisie qui est en voie de développement est une triste indication de l'impuissance à apporter des réponses adéquates à une époque de progrès scientifique et de développement économique sans précédent. La réponse aux préoccupations de sécurité alimentaire passe certainement par l'agriculture durable et le développement rural. La méthodologie et les résultats présentés dans ce projet de recherche constituent une évaluation agro écologique, globale et intégrée, de l'impact des changements climatiques sur les agroécosystèmes de la région du Sahel tunisien, dans un contexte d'autonomie et de sécurité alimentaire. Or les faits montrent qu'aujourd'hui les choix et trajectoires de développement sont étroitement liés au climat. Celui-ci représente une ressource précieuse pour le fonctionnement des écosystèmes, mais aussi pour les activités agricoles. Cependant, il représente aussi un danger.

Face aux conséquences à venir liées aux changements climatiques, les activités agricoles dans la région d'étude reposent sur l'utilisation des ressources naturelles, dont les capacités d'adaptation sont faibles. Par conséquent, les effets des changements climatiques peuvent avoir des répercussions cruciales sur la réalisation des objectifs de développement.

Notre orientation théorique consiste à examiner l'impact des changements climatiques, avec comme critère, l'exigence de prendre en compte leurs contraintes dans la région et ses deux zones bioclimatiques. Dans ce contexte, les besoins en eau pour l'agriculture se heurtent dans la zone côtière aux besoins des autres secteurs industriel et touristique, ainsi qu'aux besoins d'une population en pleine croissance démographique, ce qui engendre des contraintes d'ordre écologique et économique.

Les changements climatiques au Sahel tunisien menaçant d'une perte d'autonomie alimentaire et de biodiversité. Ils ont sérieusement touché l'eau et le sol, qui sont mobilisés, mais insuffisamment rationalisés. Leurs fonctions vitales pour l'agriculture sont indéniables

donc, nous devons à tout prix les préserver. C'est pour cette raison que l'État a lancé une dynamique de recherche afin de:

- Mobiliser au maximum les ressources hydriques disponibles, particulièrement dans la zone interne au sud-ouest, avec le stockage des eaux en saison des pluies pour alimenter les différents secteurs de l'économie pendant l'été et les périodes de sécheresse, et pour obtenir une certaine sécurité alimentaire, promouvoir le développement agricole irrigué et assurer les activités touristiques et industrielles dans toute la région, pour lutter contre les aléas du climat pour une certaine période et de réduire la demande en eau en optimisant son usage.
- Mettre en œuvre des législations et des mesures préventives et protectrices de conservation du sol de l'érosion et de la dégradation.

Le but est de maintenir une adéquation entre offre et demande en matière agricole à l'horizon de ce XXI<sup>e</sup> siècle. Plusieurs directions techniques du ministère de l'Agriculture ainsi que plusieurs projets nationaux participent à cette recherche. L'Institut National Agronomique de Tunis (INAT), l'Institut national de la recherche agronomique de Tunisie (INRAT), l'école Nationale d'Ingénieurs de Tunis (ENIT) et la Direction régionale des Ressources en Eau (DGRE) sont partenaires pour l'évaluation, la modélisation de ces ressources et l'étude de l'impact des changements climatiques sur la production agricole dans la région du Sahel tunisien dans le cadre d'un projet de développement des zones rurales (étude des ressources, gestion et usage intégrés de l'eau et du sol).

Ce cadre conceptuel nous amène à un ensemble de questions qui vont guider notre démarche inductive et exploratoire afin de caractériser les changements climatiques dans la région et préciser les interrogations suivantes : quels sont les impacts potentiels des changements climatiques sur l'agriculture dans la région du Sahel tunisien? Comment concilier les facteurs économiques avec les facteurs climatiques et quelles sont les stratégies d'adaptation envisageables pour maintenir une adéquation entre offre et demande ?

Les perturbations des régimes pluviométriques, la hausse des températures, la sécheresse, les tempêtes, et l'érosion, influent directement l'agriculture de toute la région notamment par l'accentuation des carences hydriques. Pour répondre à nos questions, deux types d'options d'adaptation sont explorés : d'un côté, la modification des modes d'exploitation agricole et des ressources hydrologiques dans la région face à son inadaptabilité; de l'autre, les options

permettant de freiner l'évolution des effets de la sécheresse et de l'aridité. La réussite de l'adaptation est en rapport particulier avec la planification de la gestion et la mise en place d'une politique d'eau fondée de manière structurelle sur la rareté croissante de cette ressource.

### **Quelles stratégies d'adaptation sont envisageables en agriculture face aux changements climatiques dans la région du Sahel Tunisien?**

Les modifications des paysages et des potentiels agricoles du Sahel tunisien ont engendré de nouveaux enjeux économiques et écologiques régionaux. Les différentes études sur cette région faites par l'Agence Nationale de Protection de l'Environnement (ANPE), le Centre National de Télédétection (CNT), la Direction régionale des Ressources en Eau (DGRE) et le Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques (MARH)...ont montré que les changements climatiques ont affaibli les efforts de promotion d'un développement durable en exacerbant des risques existants de désertification et d'assèchement, de pression sur les ressources hydriques et d'une production agricole en difficulté. En ce sens, les changements climatiques intensifient et accélèrent des problèmes persistants. Face à cette charge de plus en plus pesante, la problématique de réponse consiste en deux stratégies d'adaptation capables de limiter les impacts des difficultés croissantes de l'agriculture: d'un côté, résister aux changements du climat en adaptant des systèmes hydriques et cultureux; de l'autre, organiser des modifications graduelles qui tiennent compte du développement de la région et de son environnement bioclimatique.

### **Quelle place pour l'agriculture au Sahel tunisien au XXI<sup>e</sup> siècle ?**

Si la mise en place des options d'adaptation permettrait de limiter les impacts des changements climatiques au Sahel, une autre stratégie consisterait à prendre acte de l'inadaptabilité croissante de l'agriculture, ou de certaines cultures, à l'environnement bioclimatique de cette région et du coût, notamment pour d'autres secteurs, de ce qui pourrait constituer une fuite en avant. Ainsi, les changements climatiques posent la question de la place et du rôle de l'agriculture au Sahel tunisien au XXI<sup>e</sup> siècle.

Mises en relation avec la croissance de la population et le doublement attendu des besoins en nourriture et en eau, les perspectives de la sécurité alimentaire apparaissent toujours plus difficiles. Si la situation est moins marquée, le taux de couverture des produits alimentaires de base est en baisse perpétuelle. D'autre part, la vulnérabilité du secteur agricole à la variabilité climatique se traduit par des épisodes de contraction et d'expansion de l'activité, aux effets macroéconomiques élevés et déstabilisateurs.

Le poids de l'irrigation soulève notamment des questions d'importance dans la mesure où il peut constituer un lourd handicap pour le développement d'autres secteurs économiques dans cette région comme l'industrie et le tourisme. Les changements climatiques doivent jouer un rôle d'accélérateur d'une dynamique en cours de marginalisation de l'agriculture, et l'adaptation se traduire par une mobilisation progressive des ressources en eau par l'intensification de l'irrigation, susceptible d'aggraver les conflits et la compétition sur les usages sectoriels de l'eau <sup>3</sup>. Dès lors, au lieu de viser l'intensification de l'irrigation et les modifications possibles en systèmes d'exploitation agricole, on faudrait au contraire organiser de nouveaux modes d'exploitation agricole et le déplacement des facteurs de production vers d'autres activités agricoles moins dépendantes des conditions climatiques particulièrement dans la zone aride de cette région.

Habituellement, les agronomes et les chercheurs cherchent à maximiser les productivités par hectare, ce qui est considéré comme le meilleur critère d'une agriculture productive et fructueuse; alors si nous saisissons parfaitement que le porteur primordial (l'eau) de cette activité dans ce pays est rare; donc alors il faudrait rétablir la conception des systèmes de production agricole pour chercher à produire le maximum par mètre cube d'eau. Dans la région d'étude, l'adaptation pourrait en effet viser à diversifier l'économie et favoriser des activités agricoles faiblement liées au climat, et importer les produits agricoles à fort

---

<sup>3</sup> MARGAT J., VALLÉE D. (1999). « Water resources and uses in the Mediterranean Countries: figures and facts ». Ressources en eau et utilisations dans les pays méditerranéens, repères et statistiques. PNUE. PAM. Plan Bleu. Regional Activity Center. Valbonne – France p 47-59.

contenu en eau, maximisant ainsi l'utilisation de l'eau virtuelle<sup>4</sup>.

Deux niveaux peuvent être envisagés : la reconversion vers des cultures d'exportation à forte valeur ajoutée dans les zones favorables (oliviers, amandiers et figuiers, etc.) et le retrait des autres cultures inadaptées au milieu et la réadaptation des systèmes d'irrigation de manières plus efficaces et convenables à la situation afin d'assurer une bonne gestion des ressources hydrauliques et une production pérenne. Ces options permettraient de limiter les coûts des changements climatiques et d'une fuite en avant que constituerait un essai d'intensification de l'agriculture par l'irrigation.

Une telle stratégie nécessite cependant de repenser profondément les trajectoires de développement durable dans une perspective à long terme: elle implique en effet le développement de nouvelles activités productives capables d'absorber une main d'œuvre importante et un exode rural qui serait une contrainte forte sans le développement d'un tissu d'entreprises dans toute la région.

Quand cette voie serait choisie par les gouvernants du pays et notamment de la région, elle nécessiterait possiblement un calendrier complexe entre le soutien de l'agriculture à court terme et son retrait progressif. La question se pose alors de savoir comment et par qui les différentes options d'adaptation aux changements climatiques pourraient être mises en œuvre ? Comment modifier les comportements et l'adoption des modèles de gestions intégrées et durables des ressources en eau qui s'imposent comme des défis pour les prochaines années ? Comment intégrer la gestion de l'eau dans les politiques économiques et sociales dans les planifications du développement pour subvenir aux besoins des différents consommateurs potentiels.

---

<sup>4</sup> CENTRE DE RECHERCHES POUR LE DÉVELOPPEMENT INTERNATIONAL Canada (CRDIC):  
(<http://www.idrc.ca> www.idrc.ca). Page consultée le 12 février 2008.

## **2 Quelles options d'adaptation possibles pour l'agriculture vis-à-vis aux changements climatiques ?**

La sécurité alimentaire et l'augmentation des productions agricoles sont au cœur des stratégies de développement de toute la Tunisie. Dès lors, des options synthétisées, affaibliraient les effets des changements climatiques sur la productivité et le rendement agricole. Le défi consiste à accroître la production pour satisfaire les besoins d'une population en croissance, avec des ressources en eau et en terre de plus en plus décroissantes et réduites. Pour le pays, il s'agit aussi de maintenir l'exportation de produits agricoles de cette région tels que les oliviers et les amandiers, générant une part importante des entrées de devises.

Les options d'adaptation mises en place par l'État dans la région du Sahel, concernent principalement les ressources hydriques, secteur transversal des éventualités de l'activité économique et la véritable clé des performances de l'agriculture. Un premier type comprend l'accélération de la mobilisation de nouvelles ressources, d'abord conventionnelles, option qui pourrait être cependant limitée par la nécessité de considérer le climat comme un processus non stationnaire en assimilant les impacts du changement climatique sur le ruissellement. Une voie primordiale concerne le développement des eaux non conventionnelles, notamment le dessalement de l'eau de mer et le traitement des eaux usées pour l'irrigation pour permettre l'approvisionnement de la zone côtière de notre cas d'étude.

L'utilisation de l'eau saumâtre par l'industrie ainsi que la récupération des eaux usées pour l'agriculture et l'industrie permettrait de dégager des ressources importantes pour l'irrigation. Les eaux usées après leur traitement économiseraient des millions de mètres cubes par an dans toute la région. Cette option serait cependant limitée par les coûts et les délais de construction ou de relance des stations d'épuration.

D'autres options concernent plus directement le secteur agricole et ses pratiques dans la région, avec notamment le remodelage du calendrier agricole traditionnel par l'optimisation des dates de semis en fonction de l'évolution du climat, l'utilisation de



semences sélectionnées et le choix de variétés céréalières à cycle court et résistantes au stress hydrique, et enfin la reconversion et le repositionnement des cultures selon l'évolution du contexte bioclimatique. Cette option serait cependant conditionnelle à un accompagnement technique et financier des agriculteurs par l'état et les organismes internationaux : Organisation des Nations Unies d'Alimentation et d'Agriculture (FAO) et le Fonds International de Développement Agricole (FIDA)...

Ces aspects impliquent une mobilisation croissante de nouvelles ressources et des économies dans les différents secteurs consommateurs qui permettent de dégager des capacités nouvelles pour l'agriculture. Dans le contexte de la croissance démographique et des perspectives de développement économique dans lesquels les changements climatiques s'inscrivent, tous les secteurs verront probablement leurs besoins s'accroître. La redistribution intersectorielle de l'eau sera-t-elle suffisante pour satisfaire les besoins croissants des cultures de cette région et pour combien de temps? Pour quelle efficacité? Comment optimiser les pratiques et les procédés qui permettent une utilisation intégrée, durable et efficace de cette ressource. Si l'analyse a bien avancé dans la détermination d'options d'adaptation capables de limiter les impacts négatifs sur l'agriculture de la région, les possibilités de leur évaluation, notamment en termes économiques, font cependant encore défaut.

### **3. Quelles politiques d'adaptation ?**

L'adaptation semble un enjeu important dans la mesure où de nombreuses options pourraient réduire significativement les dommages des changements climatiques au Sahel tunisien. S'il est possible d'établir des listes de mesures minimisant les impacts, les questions relatives aux processus par lesquels elles pourraient devenir effectives restent en suspens<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> GROUPE DE RECHERCHE EN ÉCOLOGIE FORESTIÈRE INTERUNIVERSITAIRE, «La capacité adaptative de l'aménagement forestier face au feu». "<http://www.ouranos.ca>". Page consultée le 17 novembre 2006.

Les mesures prises se rangeront à deux niveaux : d'un côté l'adaptation autonome, décidée et mise en œuvre par les agents privés au niveau des exploitations agricoles, et de l'autre les politiques d'adaptation, menées par les organes publics <sup>6</sup>.

Si de tout temps les agriculteurs sahéliens se sont adaptés aux variations des conditions climatiques dans la région notamment celle du sud-ouest aride, l'adaptation à des changements rapides constitue un nouveau défi. Les études routinières montrent que l'adaptation autonome est essentiellement réactionnelle. Elles montrent une capacité d'adaptation aux changements dans les conditions moyennes de long terme, mais des succès très limités face à la variabilité et à des changements rapides du climat.

L'adaptation autonome risque donc d'être insuffisante <sup>7</sup>. D'abord, de nombreuses options supposent des actions planifiées de la part des organes étatiques. Ensuite, si certaines pouvaient être prises au niveau individuel, les moyens dont disposeront les agents privés et leurs capacités d'adaptation seraient probablement insuffisants. Enfin, l'adaptation autonome sera surtout réactionnelle, conduisant à des trajectoires d'adaptation plus coûteuses que des stratégies anticipatoires basées sur une compréhension structurée des modifications de moyen et long terme des conditions bioclimatiques dans cette région.

En dépit des incertitudes qui persistent concernant l'ampleur et la vitesse des changements climatiques, dans de nombreux cas, des stratégies anticipatoires mises par l'État et les conseils régionaux des trois gouvernorats de la région apparaissent plus efficaces et appropriées. D'abord, concernant les décisions d'investissement public comme les infrastructures, les choix présents doivent prendre en compte les changements potentiels dans les variables climatiques pouvant se produire durant leur durée de vie. Ensuite, pour la majorité des options d'adaptation citées précédemment, des écarts de temps non négligeables doivent s'observer entre la mise en œuvre de ces politiques.

Enfin et surtout, la plupart des options d'adaptation sont des mesures qui procureraient des

---

<sup>6</sup> SMITH et AL. (2001). "<http://www.grida.no/climate/ipcc>" Climate Change: The Scientific Basis. «Impacts, Adaptation and Vulnerability», Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (<http://www.grida.no/climate/ipcc>). Page consultée le 19 Janvier 2008.

<sup>7</sup> BURTON, I. (1996). «The growth of adaptation capacity: practice and policy In: Adapting to Climate Change: An International Perspective». Springer-Verlag, New York, NY, USA. p. 55-67.

bénéfices immédiats en remettant en cause des pratiques inadaptées dans la gestion des ressources hydriques ce qui est le cas actuel et en limitant les impacts et les risques du climat, de sa variabilité et de l'occurrence d'événements extrêmes actuellement subies par l'exploitation agricole. Les options d'adaptation aux changements climatiques correspondent donc souvent à des politiques qui seraient déjà nécessaires dans le contexte actuel. Les politiques d'adaptation d'une agriculture globalement limitée par les conditions climatiques et les ressources hydriques sont généralement synchroniques, synergiques avec les politiques de développement durable que vise cette région.

Dans tous les cas l'adaptation aux changements climatiques constitue un surcoût pour la région en développement, changements dont ils sont peu responsables et qui mutileraient d'autant d'autres programmes de développement régional et local. La question se pose alors du rôle à jouer pour le pays et même pour la communauté internationale pour la soutenance et l'organisation du financement des projets d'adaptation et du transfert des techniques...

### **LES OBJECTIFS :**

Les objectifs visés par cette recherche sont les suivants :

- Formaliser les diagnostics et les indices des changements climatiques obtenus par détermination et spécification du milieu physique des différentes zones bioclimatiques de la région du Sahel tunisien et ses différentes composantes en relation avec les diverses activités agricoles menées.
- La seconde phase consiste à mieux comprendre le fonctionnement des systèmes d'exploitation en place, afin de diagnostiquer leurs niveaux de performance notamment en matière de collecte des eaux, et de détecter leurs principaux problèmes.
- Enfin, le troisième axe s'intéresse à la formation des cadres institutionnels et techniques pour appliquer les méthodes adéquates ainsi développées pour s'adapter et réduire la vulnérabilité et montrer une capacité d'adaptation aux changements dans les conditions moyennes de long terme limités face à la variabilité et aux changements rapides du climat.

## **MÉTHODOLOGIE :**

Vu le type exploratoire de notre recherche et la nature des variables étudiées; nous avons choisi l'étude et l'analyse documentaire, l'étude sur le terrain et les enquêtes comme techniques de recherche. La méthodologie présentée ici a été établie afin de répondre aux objectifs initiaux soit d'analyser les impacts et les aspects des changements climatiques et les modes de gestion adoptés afin de révéler les enjeux écologiques et la surexploitation des ressources, soit un objectif économique pour la région en réalisant une autosuffisance alimentaire pour certains produits.

### **1 La première étape**

Notons d'abord que pour atteindre mon objectif de recherche, et compte tenu de la nature de la problématique, j'ai effectué la collecte de données selon une méthodologie qualitative et quantitative à partir des documents, visites sur les terrains et entrevues...

#### **1.1 La recherche documentaire**

Cette partie de ma recherche est une étude documentaire qui repose sur un recueil constitué de documents gouvernementaux qui couvrent une période de 35 années (de 1970 à 2005); pendant laquelle la région d'étude avait commencé à subir sérieusement les effets et les conséquences des changements climatiques visibles, et une irrégularité de production agricole. Ce corpus est obtenu auprès de l'Institut national de la Statistique (INS); de l'Institut National de la Météorologie (INM), Institut national de la recherche agronomique de Tunisie (INRAT), etc. Dans un premier temps, il a fallu rassembler les documents officiels portant sur les données bioclimatiques, les législations et les décrets ayant trait à l'aspect écologique et environnemental, et ensuite les classer par ordre chronologique : de 1970 jusqu'à 2005.

Par ailleurs, on a aussi mis au profit de la recherche des références relatives à l'utilisation des eaux et des cultures ainsi que des sites « FAO, IPCC, CRDIC... » Afin d'amener quelques

clarifications nous permettant une meilleure lecture pour ce genre de recueil, car ces sites comportent des données simplifiées.

## **2 La seconde étape : Analyse des données**

Cette étape a consisté à faire une analyse quantitative et comparative des données (statistiques et cartographiques) afin de mieux connaître l'évolution des facteurs et des impacts bioclimatiques, et des modes d'occupation des sols agraires de la région d'étude. Notre premier niveau d'analyse était descriptif. Dans cette perspective, nous nous étions restreints à une identification des données bioclimatiques et économiques des stations et des zones sélectionnées chronologiquement depuis 1970 et thématiquement (selon le niveau des impacts des changements climatiques et des étages bioclimatique).

Notre deuxième partie d'analyse était fondée sur les modes de l'exploitation et l'occupation du sol et l'analyse des changements qu'ils subissent dans le temps et l'espace. L'emploi de telles données, en effet, nous a permis de dévoiler les constatations des interlocuteurs interviewés par rapport aux données existantes dans les documents officiels relatifs aux facteurs qui menacent le secteur agricole dans cette région.

## **3 La troisième étape : la vérification sur le terrain**

La deuxième phase de notre étude reposait sur une étude de terrain, en visitant sur place pendant les mois de juin, juillet et août 2007 : 14 sites d'exploitation et de production agricole (sous serre, en irrigué et pluvial) dont 8 sites dans la zone côtière (Chebba, Chot Meriem, Enfidha (2 sites), Hergla, Ksour Essef, Mknine, Sayada). Par ailleurs, dans la zone interne on a visité 6 sites (Chorben (2sites), Eljem (2sites), Hebira, Ouled Chamekh).

### **3.1 Les enquêtes sur le terrain**

De plus, on a aussi organisé quelques rencontres en vue de mener des entretiens auprès des acteurs locaux et régionaux (directeurs des unités et des services agricoles, agronomes et spécialistes...) qui interviennent dans la région sur le plan écologique et

agronomique afin d'obtenir leurs points de vue et leurs perceptions sur les axes d'intervention en vue de contribuer à minimiser les conséquences de l'aridité et de la dégradation des sols de la région. On a réalisé cette série d'entretiens de type semi-dirigé. Le but était d'aborder les thèmes généraux de l'étude et ainsi dégager une compréhension riche de la situation, tout en leur permettant d'exprimer ouvertement leurs points de vue ou même de proposer de nouvelles pistes de solutions, notre objectif étant de recueillir les informations qui n'ont pas été obtenues lors de l'observation ou afin de confirmer une observation. Nous avons évalué à travers une grille tous les éléments recueillis, qui ont des significations majeures et qui sont explicites (tableaux II.I; II.II et II.III). De plus, on a tenté d'apporter une amélioration aux analyses précédentes élaborées, lors de l'actionnement de la grille.

#### **4 L'ultime étape :**

Cette étape consiste en la rédaction du rapport et en une discussion en regard de la problématique et des enjeux écologiques et économiques. En effet, cette étape s'est déroulée dans un temps minimal de douze mois depuis septembre 2007 jusqu'au mois de novembre 2008.

## CHAPITRE I

### ÉTUDE DU MILIEU PHYSIQUE ET HUMAIN

#### 1 Le milieu physique et ses caractéristiques

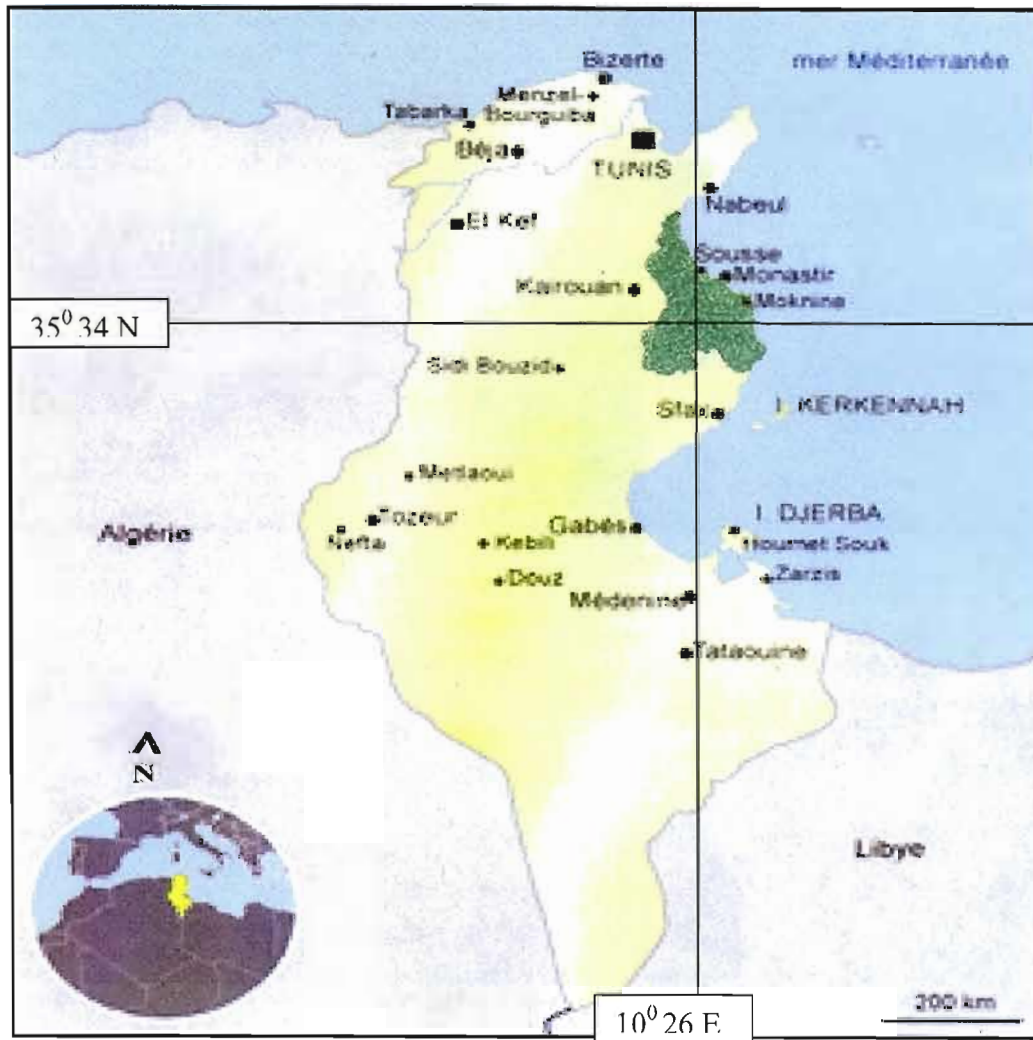
Le Sahel tunisien est la région qui occupe le centre Est de la Tunisie et comprise entre le golfe de Hammamet et Zaghuan (au nord), Sfax (au sud), Kairouan (à l'ouest) et la Méditerranée (à l'est) (figure 1.1). Dans sa définition, le Sahel s'étend du nord de Sousse jusqu'au sud de Mahdia. Son nom vient du mot arabe Sahel désignant littoral. Il regroupe aujourd'hui les trois gouvernorats de Sousse, Monastir et Mahdia. Ses villes essentielles sont Sousse, Monastir et Mahdia (figure 1.2).

Le Sahel est caractérisé depuis longtemps par sa grande population, ses trois gouvernorats hébergeant 1 379 566 habitants (soit 14 % de la population totale de la Tunisie). La région est la deuxième région la plus peuplée de la Tunisie (après le capital et le Grand Tunis) (tableau 1.1).

##### 1-1 Localisation géographique

Le Sahel constitue le cadre de notre étude. Il est une région littorale peu contrastée, s'étend sur des plaines et des collines qui lient les basses steppes à la côte et sont couvertes de plantations d'oliviers malgré la faible pluviométrie (inférieure à 400ml/an) compensée par l'humidité atmosphérique. Il constitue une unité géographique qui couvre une superficie de 6571km<sup>2</sup>. En effet, il est limité au nord par Nabeul, Zaghuan et des modestes dépressions occupées par les Chotts, au sud par Sfax qui constitue son exutoire naturel, à l'ouest par le Kairouan, et à l'est par la méditerranée. Géographiquement, cette zone est comprise entre 36° 14' et 35 07' de latitude nord et entre 11° 10' et 9° 45' de longitude Est. Elle est peu vaste : sa longueur maximale est de 140 kilomètres du nord au sud et sa largeur varie entre 20 et 60 kilomètres de l'est à l'ouest. Elle couvre 4,02 % de la superficie totale de la Tunisie, soit 163 610 km<sup>2</sup>.

**Figure 1.1 : Localisation de la région du Sahel tunisien**



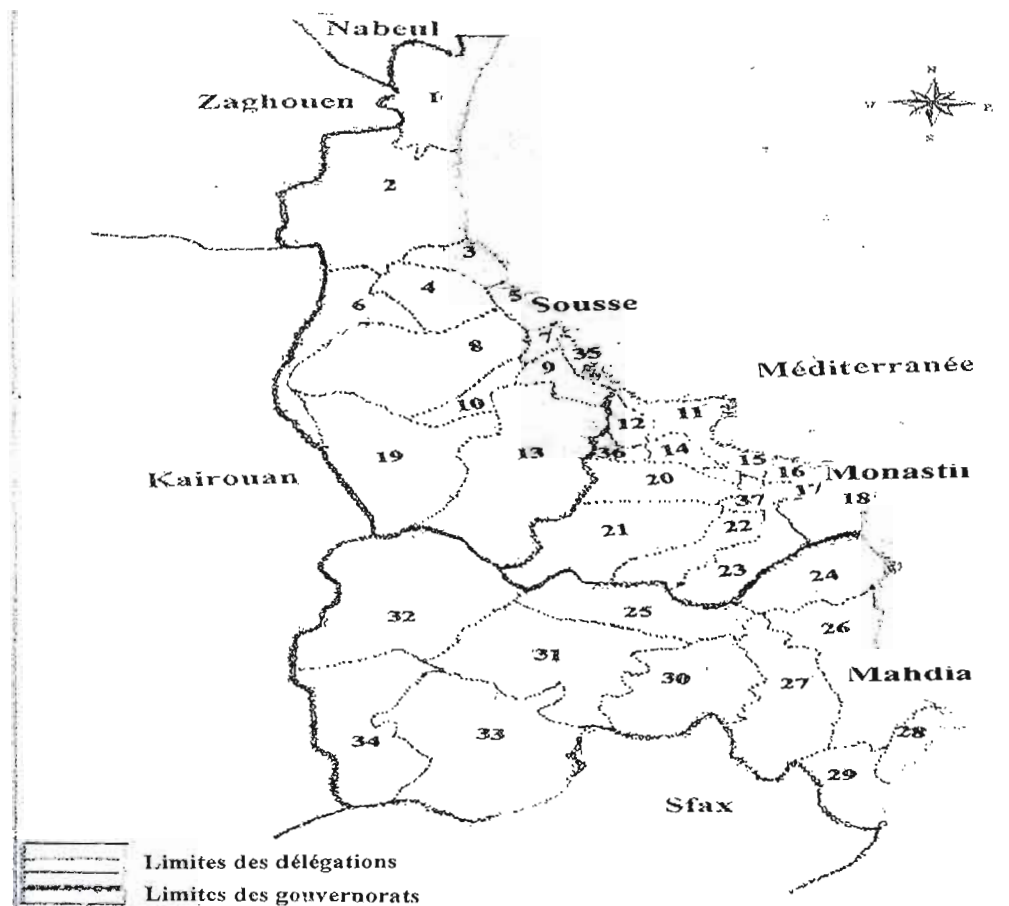


**Tableau 1.1: Données socio-économiques des gouvernorats du Sahel tunisien <sup>8</sup>**

	<b>SOUSSE</b>	<b>MONASTIR</b>	<b>MAHDIA</b>
<b>Superficie</b>	2 669	1 024 km <sup>2</sup>	2 878 km <sup>2</sup>
<b>Découpage administratif</b>	16 Délégations	13 Délégations	11 Délégations
<b>Nombre d'habitants</b>	544 413	457 300	377 853
<b>Taux annuel moyen d'accroissement démographique</b>	2,3 %	2,7 %	1,9 %
<b>Taux d'urbanisation</b>	76,1 %	100 %	45,5%
<b>Taux de branchement en eau potable</b>	98,7 %	Urbain: 99.8 % Rural: 99.8 %	Urbain: 99 % Rural: 73 %
<b>Taux de branchement au réseau d'assainissement</b>	92,4%	75 %	55,4 %
<b>Superficie agricole utile</b>	220 000 ha	88 150	226 411 ha terres cultivables, 6 592 ha zones irriguées, 16 400 ha parcours.
<b>Cheptel (en têtes)</b>	Bovin: 14 000, Ovin: 182 000, Caprin: 6 500.	Bovin de race: 7 000, Bovin local: 8 600, Ovin: 120 000, Caprin: 3 033	Bovin de race: 21 090 Bovin local: 14 000 Ovin: 118 000 Caprin: 7 000
<b>Principaux produits agricoles (en tonnes/an)</b>	Pêche: 4 500, Viande: 6 045, Volailles: 6 840, Lait: 18 500, Huile: 60 000, Arboriculture: 13 720, Cultures maraîchères: 54 150, Céréaliculture: 230 000	Pêche: 11 860, Viande rouge: 2 720 , Volailles: 9 445 , Lait: 44,2 millions litres , Huile: 270 , Oléiculture: 4 350 , Olives (870 huiles), Arboriculture: 7 090 , Cultures maraîchères: 138 370	Pêche: 13 116, Viande: 4 421, Volailles: 7 195, Lait: 97 567, Huile: 23 000, Oléiculture: 32 000, Arboriculture: 48 583, Cultures maraîchères: 76 357, Céréaliculture: 20 762.
<b>Nombre d'entreprises Industrielles</b>	547 dont 301 Exportatrices (employant 10 emplois et plus)	/	/
<b>Nombre d'hôtels</b>	127	49	27

<sup>8</sup> INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE. (2005). Rapport annuel 2005, Institut national de la statistique INS, Sousse, (TUN). p. 6.

**Figure 1.2 : Le découpage administratif de la région du Sahel**



Échelle : 1 : 6 000

**LEGENDE :**

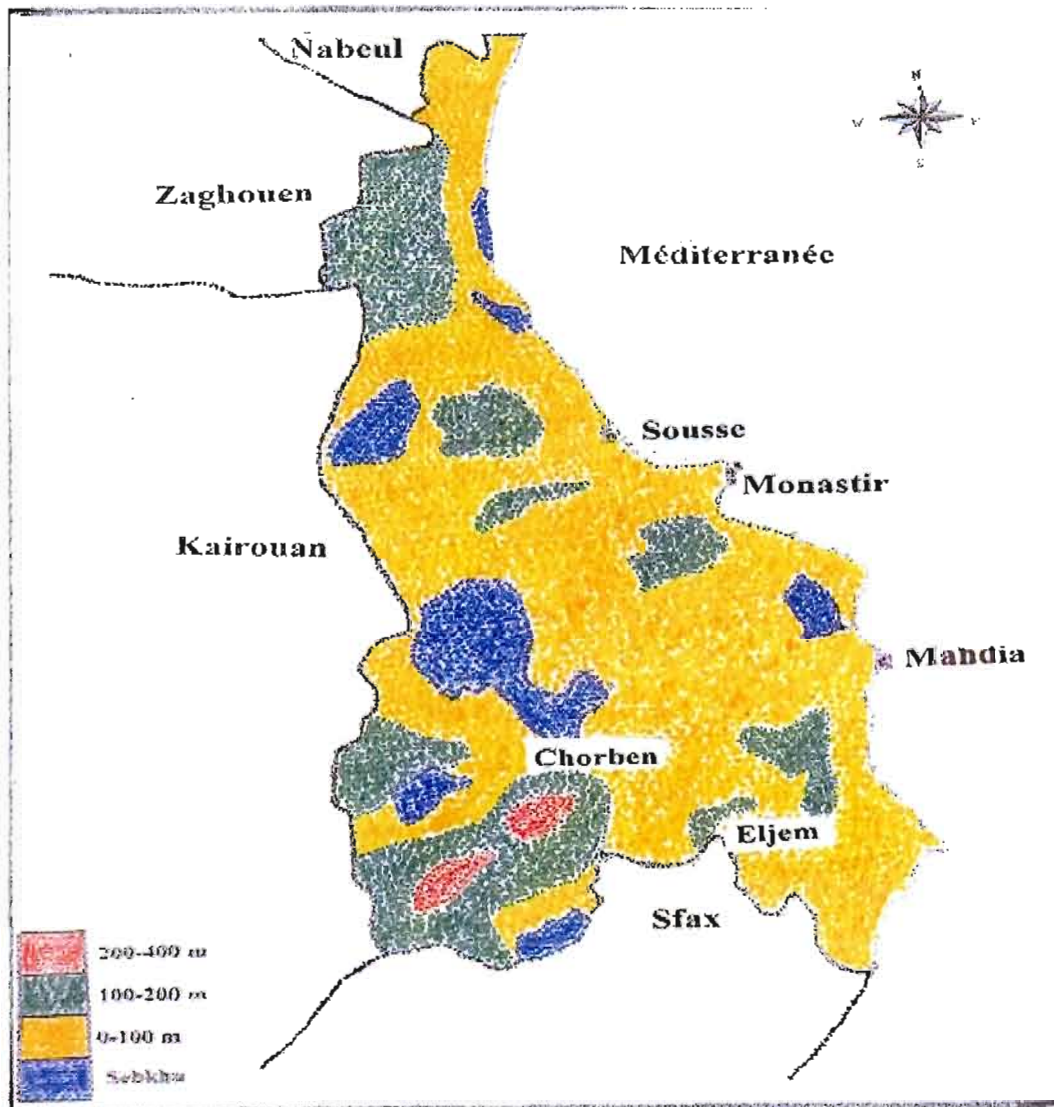
1 Bouficha	8 Kalaa Kbira	15 Ksibet Mediouni	22 Beni Hassen	29 Melloulech	36 Ouardanine
2 Enfidha	9 Sousse-Sud	16 Sayada-Lamta	23 Mognine	30 Eljem	37 Ksar Helal
3 Hergla	10 Mesa'din	17 Teboulba	24 Mahdia	31 Souassi	
4 Sidi Bou Ali	11 Monastir	18 Bkalta,	25 Bou Merdes	32 Ouled Chamekh	
5 Akouda	12 Sehline	19 Kala Sghira	26 Ksour Essef	33 Chorben	
6 Kondar	13 Mscken	20 Jemmel	27 Sidi Alouane	34 Hebira	
7 Hamem Sousse	14 Bembla	21 Zermidine	28 Chebba	35 Sousse	

## 1-2 La topographie de la région

La topographie de la région, composée de plaines et de collines, se trouve perturbée par différents niveaux morphologiques qui se succèdent à mesure que l'on s'éloigne des chaînes montagneuses à Kairouan à l'ouest vers les vastes plaines côtières à l'est. Ses reliefs ne dépassent généralement pas les 200 mètres d'altitude (150m d'altitude au niveau du sud-ouest et entre 30 et 60 m pour les plaines de Souassi et Eljem...) (figure 1.3). Ce sont ces niveaux morphologiques qui déterminent la répartition réelle des sols et particulièrement le fonctionnement hydrologique du paysage de toute la région et qui sont parcourus par des petits cours d'eau temporaires (Oueds *Mlal*, *Gharraf*, *Chrita* et Oued *Chrichira* qui chevronnent les trois délégations de Chorben, Souassi et Eljem) en créant des dépressions plus ou moins larges et comblées par des dépôts d'alluvions.

En contrebas des hautes steppes avoisinantes de la région d'étude s'étendent de vastes plaines côtières escarpées de petites collines enfermant des dépressions fermées dans lesquelles viennent se déverser les oueds à écoulement endoréique. Ces plaines s'achèvent à l'Est par un littoral bas à peine accidenté par de petits « *Rass* » (caps) tels que *Rass dimas*, *Gaboudia*, *Salakta*, *Monastir*, *Bkalta*, *Chebba* et *Mahdia*. Elles sont prolongées en mer par une vaste plateforme continentale.

**Figure 1.3 : Carte topographique du Sahel tunisien.**



Échelle : 1 : 10 000

Les basses terrasses et les grandes dépressions alluviales qui entourent les « *Sebkhas* » se caractérisent par des dépôts sableux. Pour le système alluvial, ses cours ont creusé profondément leurs lits dans ces plaines et ces plateaux du Quaternaire. La plateforme sahélienne notamment celle de Sousse est dominée par des formations Marno sableuses du Mio-Pliocène riche en gypse. La partie supérieure du Mio-Pliocène renferme des couches rouges d'argiles sableuses. La pédogenèse quaternaire est responsable de la formation de croûtes calcaires dans la partie nord et de la croûte gypseuse dans sa partie sud. L'érosion, le transport des matériaux et leur dépôt en aval qui se sont produits tout le long du Quaternaire, sont responsables de la présente morphologie du terrain.

### 1-3 Le climat de la région

La région du Sahel est soumise à un climat méditerranéen littoral caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides, de transition entre les étages arides au sud-ouest et semi-arides sur la zone côtière à l'Est. Avec une pluviométrie moyenne annuelle de 300 millimètres, elle est soumise à deux types d'actions climatiques parfaitement opposés: le climat méditerranéen tempéré sur les côtes Est et le climat aride sec à l'Ouest (tableau 1.3).

**Tableau 1.2: Les caractéristiques bioclimatiques des gouvernorats du Sahel tunisien**  
pour l'année 2004.<sup>9</sup>

Zones	Température moyenne	Pluviométrie annuelle	Étage bioclimatique
<b>Côtière</b>	Hiver : 12-20 °C. Été : 19-38 °C.	200-400 mm/an	- Semi-aride.
<b>Sud-ouest</b>	Hiver : 11-23°C. Été : 23-39 °C.	< 200 mm/an	- Aride.

Pour ce qui est des changements climatiques, plusieurs études ont été publiées. Les récentes études sur l'adaptation de l'agriculture du Sahel tunisien et des écosystèmes aux

<sup>9</sup> INSTITUT NATIONAL DE LA MÉTÉOROLOGIE. (2004). Bulletins de renseignements météorologiques pour l'agriculture. Division de la météorologie économique, service d'agro météorologie, Tunis (TUN). p. 3-4.

changements climatiques font ressortir quelques conclusions qui seront utiles pour l'évaluation de la dégradation des terres dans les deux zones de la région. En effet d'après ces études, on n'observe pas de changements pluviométriques significatifs, mais plutôt une fréquence plus élevée des événements extrêmes (inondations et sécheresse, etc.), lesquels surviennent plus souvent au cours des dernières décennies, particulièrement dans les stations de la zone sud-ouest aride, surtout en automne et en hiver. Plusieurs inondations ont été observées notamment ces trois dernières décennies. L'étude des températures fait ressortir un réchauffement de l'ordre de 1°C durant la période 1976-2004, ce qui pourrait contribuer aussi à l'assèchement accentué et à caractériser la région par la sécheresse et l'aridité.

### **1-3-1 Les conditions de l'ensoleillement et du rayonnement solaire**

Grâce à sa position, la région bénéficie d'un taux global de rayonnement solaire (**Q**) de 180 Kilocalorie/cm<sup>2</sup>/an, et d'une moyenne de 12h d'ensoleillement/jour (14h en été et 10h en hiver), mais ces données sont variables selon les saisons, les nuages, l'évapotranspiration et l'humidité... Quant au nombre d'heures d'ensoleillement annuel, il est inférieur à 3000 heures/an ; notons ici que les stations de la zone sud-ouest (Chorben, Hbira, Souassi, Ouled Echamekh et Eljem) bénéficient de plus d'heures que le reste de la région littorale à l'Est en raison de leur éloignement de la mer et de ses ascendants; notons aussi que ce tau est en évolution perpétuelle ces dernières années ce qui a engendré une hausse plus importante au sud-ouest et raccourcissement des périodes de froid en hiver, etc.<sup>10</sup>, comme nous allons le constater au cours de ce travail.

### **1-3-2-La température**

La Tunisie centrale, région dans laquelle se situe le Sahel, connaît un climat de type aride à semi-aride, caractérisé par des étés chauds et des hivers frais et humides dans les

---

<sup>10</sup> Op. cit. p. 2.

stations côtières à l'Est, tandis que le sud-ouest aride à hiver tempéré et été chaud et sec. Cependant, l'influence de la mer est limitée aux zones côtières à l'Est de cette région.

La température des stations côtières (Bouficha, Enfidha, Hergla, Sousse, Monastir, Ksour Essef, Mahdia...) est généralement marquée par une alternance de deux saisons :

- L'hiver, de décembre à avril, se caractérise par des températures douces. La température moyenne est voisine de 12°C. Les moyennes maximales diurnes évoluent autour de 17°C, alors que les moyennes minimales nocturnes chutent à 8°C. Au cours des mois les plus froids de l'année: janvier et février, la température moyenne oscille entre les 11°C et 13°C.
- L'été se caractérise par de fortes chaleurs. L'effet modérateur de la mer n'intervient que pour assurer un rafraîchissement relatif limité à la frange côtière. La température moyenne estivale s'élève à 25°C. Au cours de la journée, la température monte pour atteindre en moyenne 29°C. Le réchauffement journalier de l'air devient perceptible dès le mois de mai et atteint son maximum en août. Des vents sahariens du sud-ouest (*Shehili*), chauds et secs, sont responsables de fortes canicules qui rehaussent la température à des niveaux dépassant 40°C. La région est largement soumise aux influences sahariennes et steppiques. Elle est confrontée annuellement en moyenne à 30 jours de «*Shehili*» (tableau 1.3 et figure 1.4).

Quant à la température de la zone sud-ouest (Hbira, Chorben, Ouled Chamekh, Eljem, Souassi avec l'apparition récente d'une petite zone aride à l'Est Chebba et Meloulch) (figures 1.6 et 1.7) elle est marquée par l'alternance de deux saisons à caractère aride et steppique :

- L'hiver froid et long s'étale de décembre au mois d'avril, la température moyenne est de 10°C. Les valeurs maximales quotidiennes varient autour de 13°C, alors que les valeurs minimales nocturnes diminuent à 4°C. Pendant les plus froids mois de l'année qui s'étalent de décembre à mars, la température moyenne oscille entre les 2°C et 12°C.
- L'été chaud se caractérise par de fortes chaleurs. La température moyenne estivale s'élève à 33°C. Au cours de la journée, la température augmente pour atteindre en moyenne 39°C. Le réchauffement quotidien de l'air devient ardent dès la fin du mois de mai et atteint son maximum aux mois de juillet et d'août aussi. Les vents sahariens «*Shehili*» qui viennent du sud-ouest et du désert, très chaud et sec, sont responsables de fortes canicules qui relèvent la température à des niveaux dépassant 45°C. La région est largement soumise aux influences



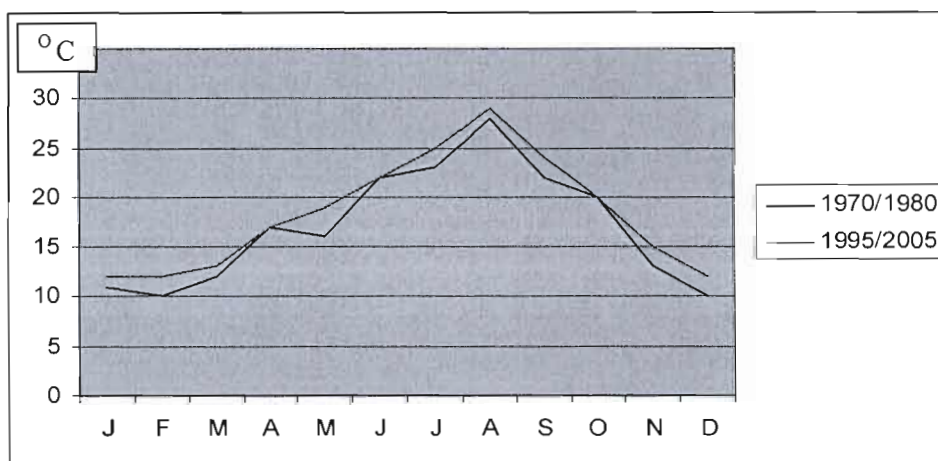
sahariennes et steppiques. Elle est confrontée annuellement en moyenne à plus de 40 jours de sirocco (tableau 1.4 et figure 1.5).

**Tableau comparatif 1.3: Températures moyennes des stations des délégations côtières du Sahel pour les décennies 1970/1980 et 1995/2005 en °C.** <sup>11</sup>

Stations côtières*	Jan	Fév	Mar	Avri	Ma	Jui	Juil	Août	Sep	Oct.	Nov	Dé	moyenne
Période : 1970/1980	11°	10°	12°	17°	16°	22°	23°	28°	22°	20°	13°	10°	17°
Période : 1995/2005	12°	12°	13°	17°	19°	22°	25°	29°	24°	20°	15°	12°	19°

\* Zones côtières : Bouficha, Enfidha, Kalaa Kbira, Msaken, Kala Sghira, Hammem Sousse, Akouda, Hergla, Sidi Bou Ali, Sousse, Kondar, Sidi el Heni, Monastir, Bkalta, Bembla, Beni Hassen, Jemmal, Ksar Helal, Ksibet El-Mediouni, Moknine, Ouerdanine, Sahline, Zermidine, Sayada-Lamta, Teboulba, Mahdia, Ksour Essef, Chebba, Sidi Alouane, Bou Merdes, Melloulech.

**Figure comparative 1.4: Températures moyennes des stations des délégations côtières du Sahel(Est) pour les décénies 1970/1980 et 1995/2005 en °C.** <sup>12</sup>



<sup>11</sup> Op. cit. p. 2-4

<sup>12</sup> Ibid.

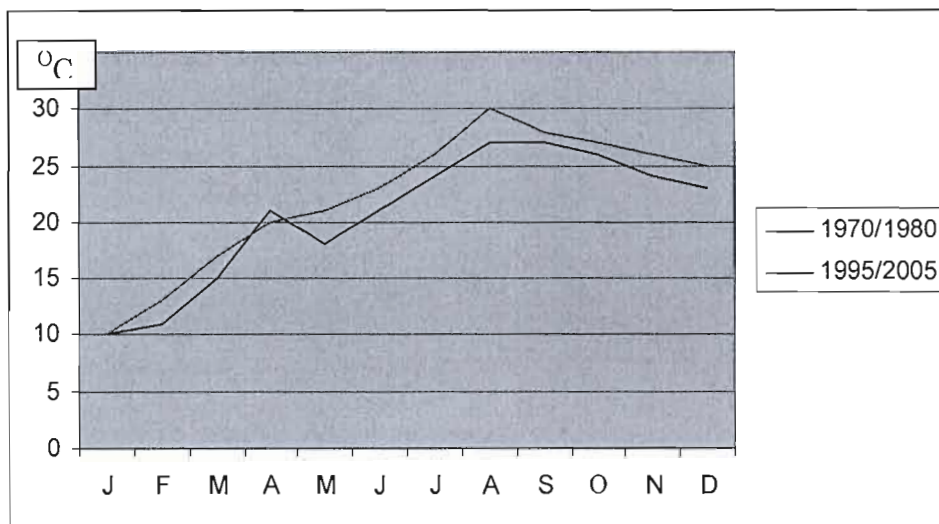


**Tableau comparatif 1.4: Températures moyennes des stations des délégations sud-ouest du Sahel pour les décennies 1970/1980 et 1995/2005 en °C.** <sup>13</sup>

Stations	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	moyenne sud-ouest*
Période : 1970/1980	10°	11°	15°	21°	18°	21°	24°	27°	27°	26°	24°	23°	21°
Période : 1995/2005	10°	13°	17°	20°	21°	23°	26°	30°	28°	27°	26°	25°	22°

\* Zones Sud-Ouest : *Hebira, Ouled Echamekh, Chorbene, Eljem, Essouassi.*

**Figure comparative 1.5: Températures moyennes des stations des délégations Sud- ouest du Sahel pour les décennies 1970/1980 et 1995/2005 en °C en °C.** <sup>14</sup>



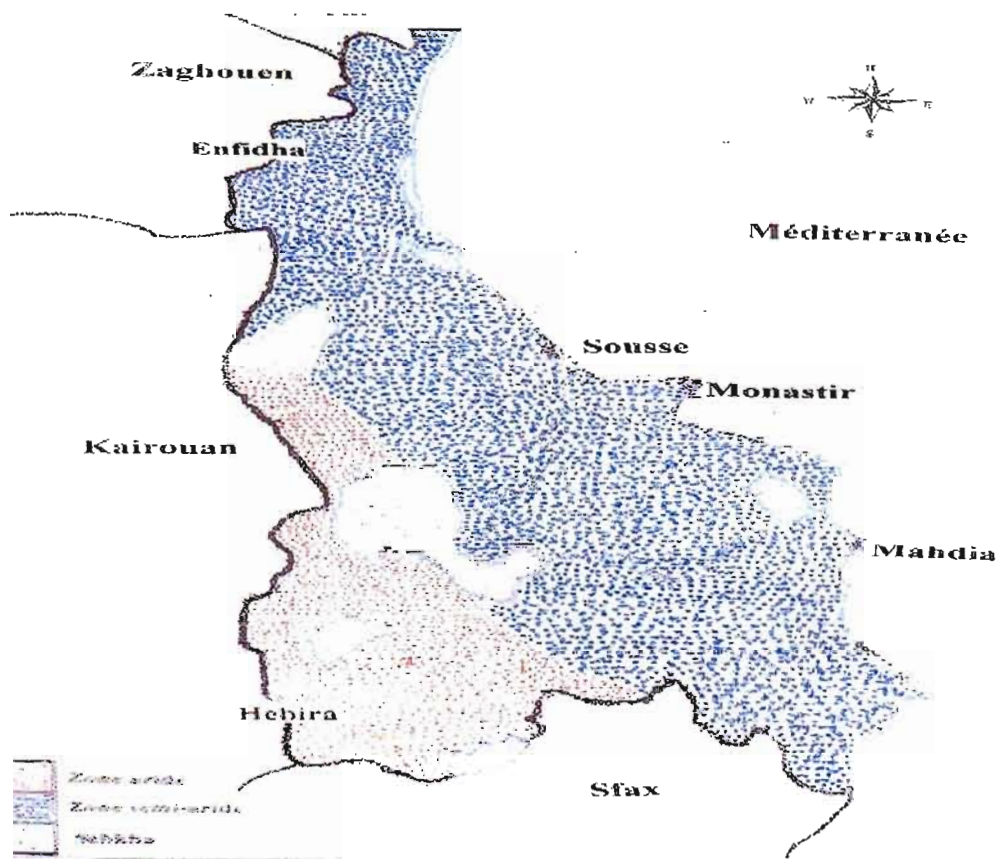
<sup>13</sup> Ibid.

<sup>14</sup> Ibid.

Selon les rapports d'évaluation de l'INM, l'augmentation de ces valeurs thermiques est due aux phénomènes de réchauffement et aux changements climatiques qui se traduisent par un réchauffement continu, par la modification des régimes et du volume de précipitations et par une variation de la fréquence et de l'intensité des phénomènes extrêmes dans la région et en particulier sa zone aride qui est en extension, menacée d'une transition à un état hyperaride (figure 1.7) et dont les principales conséquences sont:

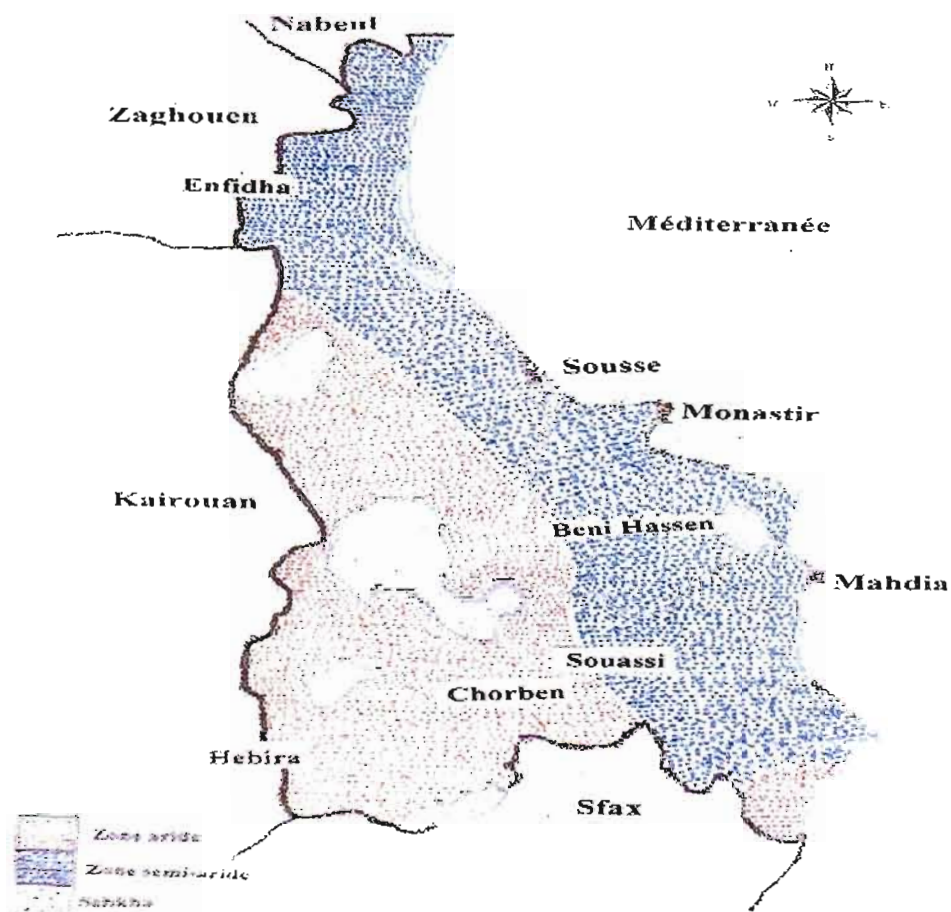
- Une augmentation continue de la température supérieure à 1°C.
- Des sécheresses et des inondations plus sévères et une augmentation des précipitations
- Un déficit hydrique en augmentation et une modification de l'équilibre entre les espèces végétales et les variétés des cultures dans les deux zones de la région.

**Figure 1.6: Carte des zones bioclimatiques du Sahel : 1970/1980**



Échelle : 1 : 7 000

**Figure 1.7: Carte des zones bioclimatiques du Sahel : 1995/2005**



Échelle : 1 : 7 000

### 1-3-3 Les précipitations et l'humidité

Les précipitations représentent l'un des éléments les plus importants du climat du Sahel et constituent également le facteur essentiel de son régime hydrologique. Elles sont irrégulières d'une saison à l'autre et mal réparties d'une année à l'autre dans toute la région.

La faiblesse relative des pluies ainsi que leur irrégularité sont aggravées par une évaporation potentielle intense associée, en été, à de fortes températures, et en toutes saisons, à des vents secs et parfois violents. Elles sont très variables dans le temps et dans l'espace. En effet, sur 30 années d'observation de 1970 à 2000 (tableaux 1.5 et 1.6, et figures 1.8 et 1.9), les années 1989 et 1994 sont respectivement, la plus arrosée (500 mm), et la plus sèche (40 mm). Les variations mensuelles sont aussi très importantes. Le maximum des précipitations pour les stations côtières est enregistré au mois d'octobre pendant les deux décennies, alors que le mois de juillet est considéré comme le plus sec. Quant à la zone sud-ouest la moins favorable, le maximum des précipitations est enregistré au mois de mars pour la décennie 1970/1980

**Tableau comparatif 1.5: Pluviométries moyennes des délégations côtières du Sahel pour les décennies 1970/1980 et 1995/2005. (en mm)**<sup>15</sup>

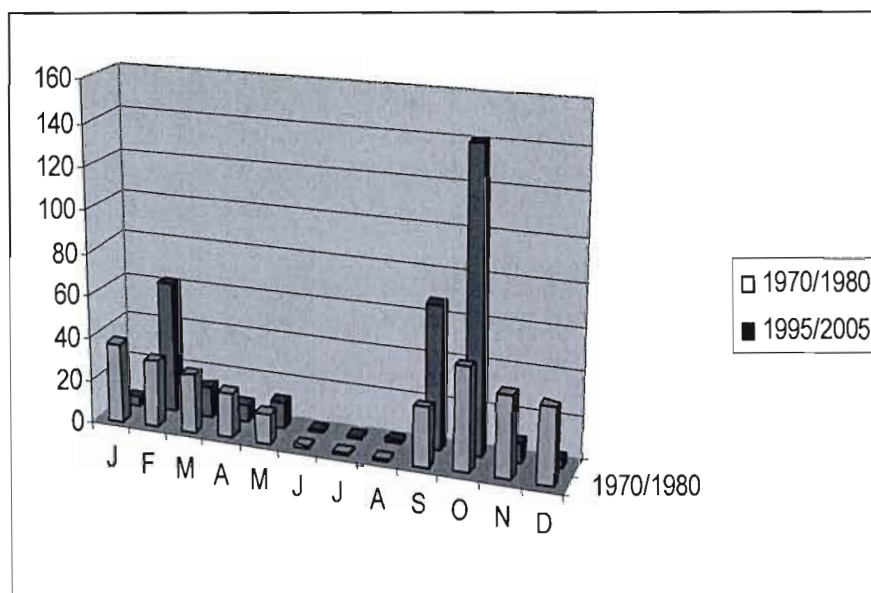
Stations	Ja	Fev	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Jui.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
côtières*													
Période : 1970/1980	37	31	27	21	14	2	1	1	27	48	38	35	282
Période : 1995/2005	4	62	14	8	12	1	1	2	67	141	19	4	335

*Zones côtières : Bouficha, Enfidha, Kalaa Kbira, Msaken, Kala Sghira, Hammem Sousse, Akouda, Hergla, SidiBou Ali, Sousse, Kondar, Sidi el Heni, Monastir, Bkalta, Bembla, Beni Hassen, Jemmal, Ksar Helal, Ksibet El-Mediouni, Moknine, Ouerdanine, Sahline, Zermidine, Sayada-Lamta, Teboulba, Mahdia, Ksour Essef, Chebba, Sidi Alouane, Melloulech.*

---

<sup>15</sup> Ibid.

**Figure comparative 1.8 : Pluviométries moyennes des délégations côtières du Sahel(Est)**  
**pour les décennies 1970/1980 et 1995/2005 (En mm).<sup>16</sup>**



**Tableau comparatif 1.6: Pluviométries moyennes des délégations sud-ouest du Sahel**  
**pour les décennies 1970/1980 et 1995/2005. (En mm)<sup>17</sup>**

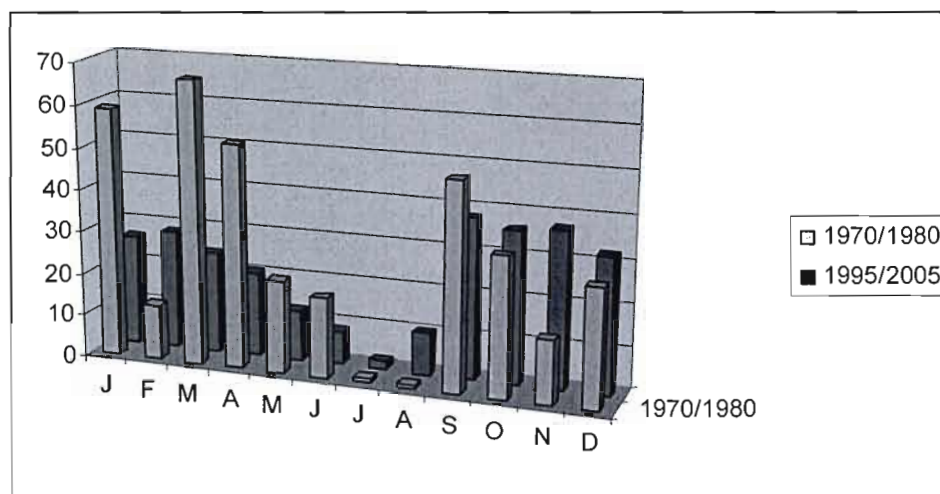
Stations sud-ouest*	Ja	Fev	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Jui.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
Période : 1970/1980	59	13	67	53	22	19	1	1	49	33	15	28	360
Période : 1995/2005	26	28	24	20	12	8	2	10	38	36	37	32	273

\* Zones sud-ouest : Hebira, Ouled Echamekh, Chorbene, Eljem, Bou Merdes, Souassi.

<sup>16</sup> Ibid.

<sup>17</sup> Ibid.

**Figure comparative 1.9: Pluviométries moyennes des délégations sud-ouest du Sahel pour les décennies 1970/1980 et 1995/2005. (En mm) <sup>18</sup>**



et au mois de septembre pour la décennie 1995/2005, alors que le mois de juillet reste le plus sec pour les deux périodes.

Les pluies fines caractérisent surtout les mois de janvier et février. Les pluies de l'automne se distinguent par une intensité supérieure, notamment en octobre où elles sont dans la plupart des cas torrentielles dans toute la région du Sahel. Le caractère torrentiel des pluies est également observé durant les mois de novembre et décembre.

D'après les valeurs disponibles, on note que ces variations mensuelles et annuelles sont très importantes, elles peuvent être expliquées par l'effet des divers facteurs et aspects des changements climatiques, plus particulièrement le phénomène de l'évaporation qui a connu une hausse ces trois dernières décennies en atteignant parfois 2500mm/an notamment dans la zone sud-ouest aride du Sahel alors que cette région ne reçoit que 250 mm/an, en engendrant ainsi un grave déficit et des complications écologiques.

Quant aux rapports température/pluie, ils se manifestent dans la zone côtière à l'Est pour la première décennie 1970/1980 (figures 1.10) par deux sommets; le premier moins important au mois d'avril, avec une valeur thermique de 17°C et le second est principal (juste à la suite du mois d'août) avec une température de 28°C, et une pluviométrie de 48 mm

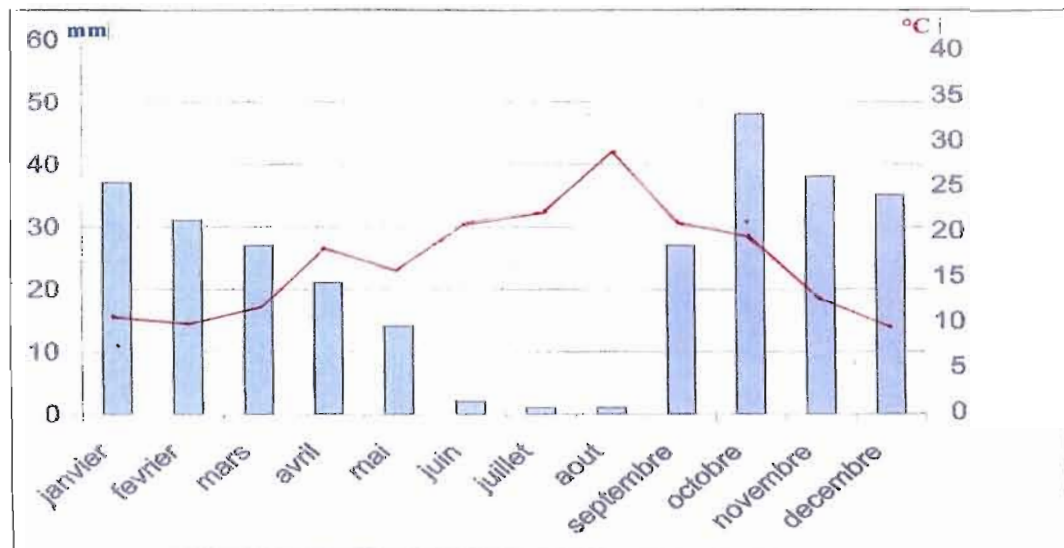
<sup>18</sup> Ibid.

au mois d'octobre; alors que pour la décennie 1995/2005 on note des valeurs thermiques élevées qui sont de 29 °C au mois d'août et des données pluviométriques de 141 mm en octobre.

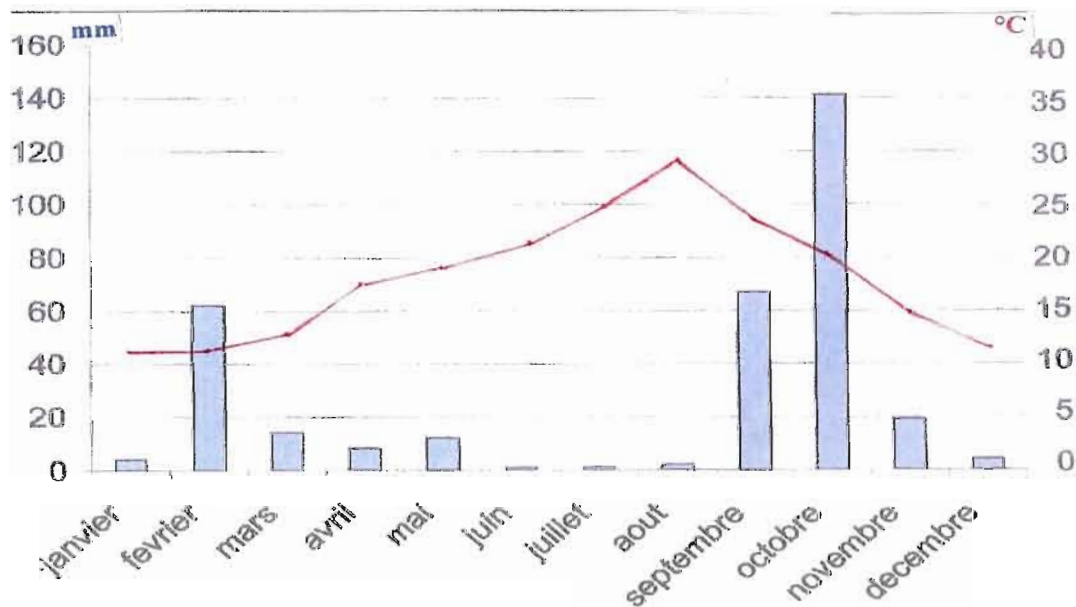
Pour la zone sud-ouest et d'après la figure (1.11) nous pouvons voir clairement que pendant la période 1970/1980, les valeurs thermiques atteignent leurs plus hauts niveaux à deux reprises en avril et en août, elles sont évaluées à 20 °C et 27 °C; quant à la pluviométrie, elle est de 68 mm au mois de mars et de 49 mm en septembre; alors que les valeurs thermique et pluviométrique de la période 1995/2005 n'atteignent à leurs plus hauts niveaux qu'aux mois d'août et de septembre où elles sont aussi évaluées à 30°C et 38 mm. Cette irrégularité et ces variations anormales s'expliquent généralement par l'accentuation des aspects et des effets des changements climatiques et du réchauffement qui dominent toute la région (faiblesse et régression relative des pluies ainsi que leur irrégularité, une évaporation potentielle intense associée, en été, raccourcissement des saisons d'hiver et d'automne, et à des températures élevées en toutes saisons et des vents secs...), en signifiant qu'une grave aridité domine la région, ce qui est confirmé aussi par son bilan hydrique comme nous allons le constater ultérieurement.



**Figure 1.10: Courbes et histogrammes des valeurs thermiques et pluviométriques dans la zone côtière : Est du Sahel**

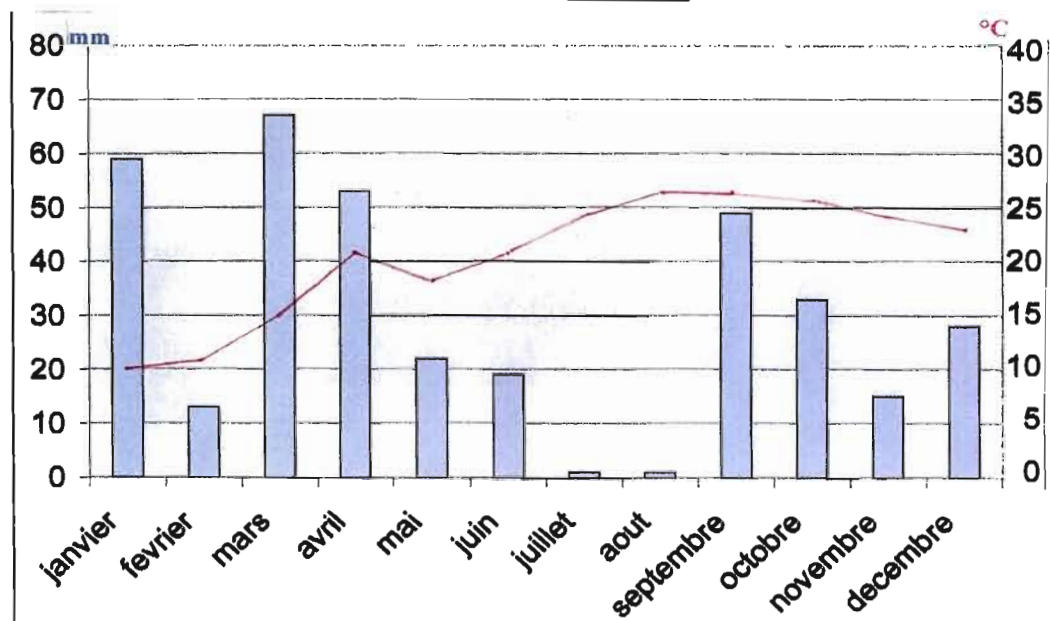


Période : 1970/1980

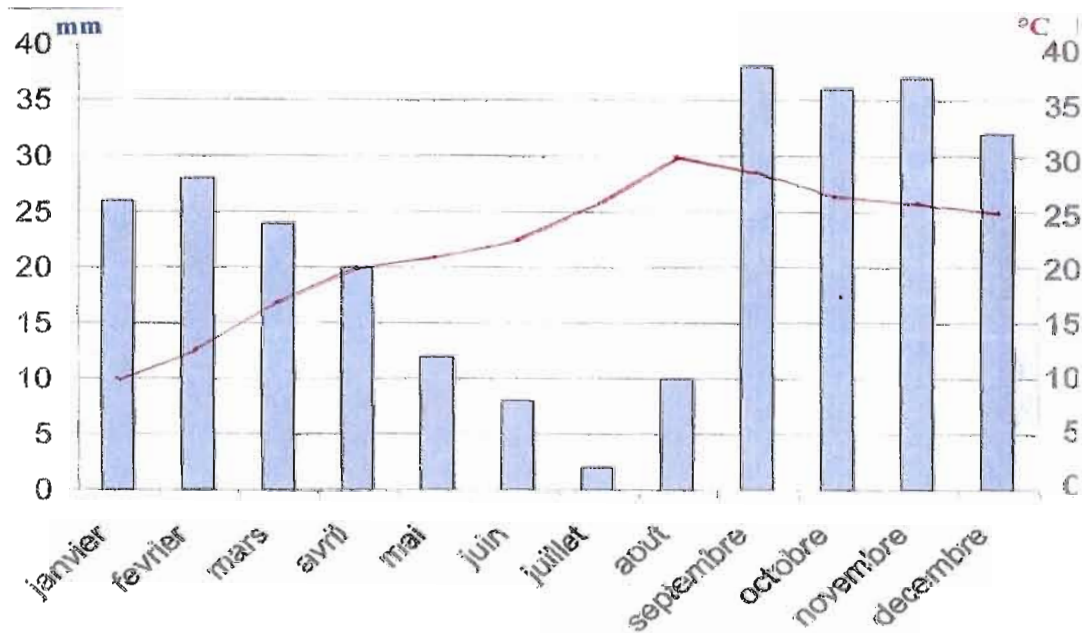


Période : 1995/2005

**Figure 1.11 : Courbes et histogrammes des valeurs thermiques et pluviométriques dans  
la zone Sud-ouest du Sahel**



Période : 1970/1980



Période : 1995/2005

### 1-3-4 Étude hydrographique :

La région du Sahel constitue un espace composé de plaines et de collines interrompues par de nombreuses dépressions « *Sebkhas* » collectant les eaux de ruissellement qui n'aboutissent pas à la mer, dont l'écoulement endoréique par des Oueds secs (Oueds Mlal, Gharraf, Chrita, Bou Sayela, El Maleh, Soussi, Louza, Guendoul, Grida, Sidi Ahmed et Oued Chrichira) à cause de l'évaporation et de l'infiltration. Toutes les eaux provenant des zones voisines à l'ouest sont partiellement emmagasinées dans ces dépressions et le reste est infiltré pour alimenter les nombreuses nappes souterraines qui sont à l'origine du développement d'une agriculture irriguée.

En 1993 les ressources en eaux de toute la région du Sahel ont été évaluées d'un apport total de 23 Mm<sup>3</sup> et d'un apport mobilisable de 4 Mm<sup>3</sup>, alors que pour les nappes phréatiques, les statistiques du Ministère de l'Agriculture <sup>19</sup> ont évalué les ressources exploitables à 34,6 Mm<sup>3</sup> et les ressources exploitées à 26,9 Mm<sup>3</sup>, quant aux nappes profondes leur réserve a été estimée à 16.5 Mm<sup>3</sup> comme ressources exploitables et à 15,4 Mm<sup>3</sup> comme ressources exploitées.

L'exploitation annuelle à partir des puits de surface est estimée à 6 Mm<sup>3</sup>/an par la direction des Ressources en Eaux en 1998. L'écoulement souterrain vers la mer est estimé à environ 0,6 Mm<sup>3</sup>/an <sup>20</sup>. Les sorties totales sont donc estimées à 7 Mm<sup>3</sup>/an dans toute la région <sup>21</sup>.

Les pertes sous forme de ruissellement sont estimées à 3 Mm<sup>3</sup> vers la mer et les « *Sebkhas* » de : Sidi Abdel Hamid, Skaness, Mahdia, Halk El Menjel, Sidi el Hani, El Kelbia, Shérta, El Ggherra,

<sup>19</sup> MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE (1993). «Rapport : les ressources en eau et environnement», Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE), Ministère de l'Agriculture (TUN), p 9.

<sup>20</sup> Ibid.

<sup>21</sup> ----- (1996). «Rapport sur l'état des nappes phréatiques et profondes de la Tunisie». Ministère de l'Agriculture. Tunis, (TUN). p. 7-9.

ElJem et Moknine, qui sont des vastes dépressions salées complètement désertiques. Leurs pourtours sont formés de bourrelets éoliens et elles disposent de ressources en eau souterraine importantes qui sont à l'origine des exploitations agricoles, elles sont réparties dans toute la région sahélienne, là où les Oueds occasionnels déversent leurs charges d'eau de pluies torrentielles pendant les mois pluvieux.

Le bilan hydrogéologique de la région a mis en évidence un déficit d'environ  $2 \text{ Mm}^3/\text{an}$ , qui s'accroît chaque année, les réserves hydrogéologiques sont peu renouvelables et le niveau piézométrique a connu un abaissement important. Il s'agit d'un réservoir en cours d'épuisement par surexploitation, qui se traduit par la baisse continue du niveau piézométrique. Les prélèvements se font donc aux dépens des réserves géologiques de la nappe. Notons que ce bilan déficitaire est réalisé à partir de l'estimation interannuelle des apports et ne respecte pas la variabilité et la complexité de l'hydrologie des nappes et des volumes de précipitation et de l'ETP qui atteint parfois les  $2500 \text{ mm/an}$ , etc.

### 1-3-5 L'évapotranspiration potentielle (ETP)

Pour les mesures de l'évapotranspiration potentielle, plusieurs formules ont été essayées pour les calculer, mais celles de PENMAN et TURC apparaissent les plus fréquentes en Tunisie, car elles exigent plusieurs éléments climatiques.

Au Sahel, l'ETP annuelle calculée par la formule de PENMAN est celle qui s'accorde le mieux avec les valeurs mesurées; les tableaux suivants (1.7 et 1.8) dégagent l'importance de ce phénomène à moyenne de  $1500 \text{ mm/an}$  en atteignant le seuil de  $2500 \text{ mm}$  en été, et sa contribution incontestable au déficit imminent du bilan hydrique de toute la région du Sahel.

**Tableau 1.7: Évapotranspiration potentielle de la zone côtière 1995/2005 (en mm).**

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel
TURC	47.5	64	87.5	113	145	162	190	170	134	105	63	47	1335
PENMAN	58	73	102	133	184	221	239	215	150	107	74	51	1607

**Tableau 1.8: Évapotranspiration potentielle du sud-ouest 1995/2005 (en mm).**

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel
TURC	49	73	91	99	139	161	197	169	139	112	62	53	1343
PENMAN	61	85	101	112	178	213	253	204	163	127	80	57	1634

L'ETP minimale se situe en hiver (12% environ du total annuel). Elle est maximale en été (près de 40% de l'ETP annuelle). Ceci étant, quelle que soit la méthode utilisée pour estimer l'évapotranspiration, le déficit hydrique élevé dans les stations des deux zones est certain, l'évapotranspiration potentielle étant très supérieure à la pluviométrie. Cependant, l'influence côtière (brouillard et humidité...) atténue les températures et l'ETP, et les zones intérieures sont influencées par le « *Shehili* » (figures 1.10 et 1.11).

### 1-3-6 Un bilan hydrique négatif:

Puisque les niveaux de l'évapotranspiration annuelle -selon les valeurs moyennes entre les formules de TURC et de PENMAN sont évalués à 1335 et 1607 mm, et à 1343 et 1634 mm respectivement pour les stations côtières et intérieures sont supérieures aux précipitations (P) qui sont de 335 mm et de 273 mm ( $ETP > P$ ), en représentant environ 23% et 19% de l'ETP de chacune des deux zones semi-aride et aride, et comme le démontrent aussi les évaluations hydrologiques qui quantifient un important déficit de valeurs supérieures à 1000 mm/an pour les deux zones, l'état de ces bilans négatifs dans toute la région met en évidence un déficit imminent, mais qui reste avec un léger privilège pour les stations côtières pour des raisons révélées antérieurement.

Au terme de cette partie et à travers ces valeurs, on doit noter que ce déficit hydrique a provoqué une réduction du rendement agricole et de ses composantes dans les deux zones étudiées. Dans cette région, en général, et en particulier aux stations sud-ouest, lorsque la sécheresse s'installe d'une manière intense et assez tôt, il devient difficile de l'éviter par l'emploi des variétés précoces à moins de disposer de la possibilité d'irriguer...

### 1-3-7 Les vents

En raison de sa situation géographique, le climat de la région est influencé par les vents marins et sahariens :

- \* Les vents dominants sur les zones littorales du Sahel sont de secteurs Est, Nord-est et Sud-est, ils sont humides et tempérés, provoquent une baisse significative des températures en été et une hausse des précipitations en particulier en hiver, ils sont souvent accompagnés par des brouillards et des rosées qui constituent un apport important pour les cultures locales.

- \* Quant à la zone sud-ouest de la région, les vents y sont de secteur Ouest, Nord-ouest, Sud-ouest, chauds et secs soufflent sur les sols étendus arides ainsi que sur les plaines côtières. Pendant les mois de novembre à avril, ils sont violents, secs, et froids, accompagnés de tempêtes de sable qui endommagent gravement les cultures et la pousse des espèces annuelles dans les pâturages. De mai à octobre, les vents du secteur marin ne dominent que la zone côtière à l'Est, et ils n'ont qu'une influence limitée sur la zone sud-ouest (Chorbèn, Hebira, Souassi et Ouled Echamekh...) car en juillet et en août on voit apparaître le sirocco dénommé « *Shehili* », un vent d'origine saharienne qui peut facilement faire grimper la température au-dessus des 40°C en appuyant le phénomène de l'évaporation qui atteint des taux très élevés même supérieurs à 1500mm/an particulièrement dans les stations de la zone interne aride du Sahel qui ne reçoivent que des valeurs de 250 mm/an) (tableau 1.9).

#### 1- 3-7-1 Les vents d'Est et du Nord-est :

Ils se développent au niveau du bassin est de la Méditerranée, leur arrivée en hiver engendre des fortes pluies sur les zones côtières de Sousse, Hergla, Enfidha, Monastir, Bouficha, Mahdia, Ksour Essef, Sousse..., alors qu'en été ils adoucissent les températures élevées et leurs influences sur les autres secteurs de la région sont limitées.

#### 1-3-7-2 Les vents de sable:

Ces vents viennent du désert du sud-ouest en envahissant toute la région et spécialement la zone ouest du Sahel : Ouled Echamekh, Hebira, Eljem, Chorbèn... ils sont

accompagnés par des sables et des températures élevées qui endommagent les cultures et provoquent aussi des risques d'incendies lors des périodes de moissons des cultures céréalières.

**Tableau 1.9 : Direction mensuelle du vent dans la région du Sahel**

(En nombre de jours) en 1983

Direction	N	NE	NO	O	SE	SO	Nbre jours
Janvier.	2	6	12	1	0	1	22
Février	0	4	6	5	2	5	24
Mars	0	8	5	4	3	1	26
Avril	1	5	1	4	4	1	23
Mai	0	7	3	0	7	4	26
Juin	1	5	0	2	4	3	23
Juillet	0	5	4	0	5	2	22
Aout	0	5	1	1	11	1	25
Septembre	0	8	3	2	1	2	20
Octobre	0	8	3	2	1	2	20
Novembre	0	2	4	6	0	2	14
Total	4	63	42	27	38	27	245
Remarques		Pluie (A/H)	Vent de sable (H/P)	Sirocco	Brise (E)	Sirocco (E)	

(A : Automne, H : Hiver, P : Printemps, E : Été).

#### 1-4 Étude de sol :

Les sols de la région ont été aménagés d'après leur degré de développement. Ils se différencient en fonction du climat, de la roche mère et du relief. Une différenciation nette s'effectue entre les sols des zones est semi-arides et les sols du sud-ouest au climat aride qui présentent des déficiences hydriques importantes dues à une sorte d'aridité prévenant la pédogenèse et favorisant la salinisation.

La pédogenèse du Sahel est dominée par une lithologie marquée par l'alternance de calcaires, de marnes plus ou moins gypseuses, et de sables grossiers et fins. Ainsi, les travaux de Centre d'Étude du Sol (CES) sont localisés dans les zones les plus menacées par le déficit hydrique et l'érosion des sols, situées en voisinage des *Sebkhas* d'El Kelbia, Sidi el Heni, El Gherra, Eljem etc.

Généralement ces sols sont formés dans des conditions climatiques arides, ils sont pauvres en matière organique, rocheux, et souvent érodés. Ils conviennent à la pâture et, par endroits, aux plantations d'oliviers. Dans les plaines alluviales, ils ont connu une évolution récente et sont légèrement salés; ils conviennent à de nombreuses cultures, notamment en irrigué.

### **1-5 Formation végétale**

Les données disponibles relatives aux ressources végétales de la région du Sahel illustrent des zones forestières avec différentes strates (forêts, garrigue et maquis...etc.), et des parcours (steppes, alfa, prairies, pelouses). La comparaison entre les différents inventaires forestiers et pastoraux du Ministère de l'Agriculture pour la période d'étude (1970–2005) souligne la présence d'une végétation basse et discontinue, composée de plantes herbacées, généralement en touffes, laissant apparaître entre elles des plaques de sol nu notamment dans la zone sud-ouest. Cette végétation est diversifiée par sa composition et sa densité, et reste l'enjeu fondamental de la vie du pasteur. Généralement la végétation varie en fonction des zones. Celle de la zone côtière comprend des prairies, garrigue, maquis, quant à la végétation du sud-ouest, qui s'adapte aux conditions climatiques arides, elle est de type steppique avec une dominance de l'alfa.



## 2 Le milieu humain :

### 2-1 Historique des mises en valeur successives du sol

#### 2-1-1 Avant la colonisation

De tout temps, l'eau et le sol qui constituent des facteurs précieux pour l'existence humaine ont reçu une attention particulière dans leur utilisation pour en tirer le meilleur profit et assurer leur perpétuité. Les civilisations anciennes qui se sont succédé dans le pays et notamment la région d'étude ont développé des techniques diverses de conservation des eaux et du sol adaptées aux conditions du milieu telles que les « *Jessours* »<sup>22</sup> et les « *Meskats* »<sup>23</sup> qui forment des exemples spécifiques d'une agriculture durable. Ces techniques ont atténué l'érosion sur les collines et les plaines de cette région.

Ce ne sont que de primitifs modèles d'une série de techniques traditionnelles mises au point par les Berbères, les Romains et les Arabes. Nous citons les cultures sur terrasse, la dérivation des eaux de crues et leur épandage pour créer des sols fertiles arables en sec. Les ancêtres réservaient les grandes parties de leurs terres aux parcours qui étaient soumis à moins de pression en pratiquant un pacage différé. L'introduction de l'arboriculture des oliviers, figuiers et amandiers a complètement bouleversé l'équilibre des écosystèmes pastoraux en rétrécissant les aires de pacages et en induisant une pression sur les espaces réduits conservés en parcours. Ils administraient donc fermement leurs terrains. Les aménagements et les réhabilitations faisaient partie de leurs tâches agricoles régulières. Les espaces aménagés sont préservés pour assurer une production durable.

---

<sup>22</sup> « *Jessours* » : ce sont des barrages en roches implantés en travers les ravins. Derrière ces barrages se créent des terrasses avec des sols engraisés par des sédiments et contenant des réserves hydriques importantes

<sup>23</sup> « *Meskats* » : ce sont des cuvettes réservées à la collecte des eaux pluviales pour les transférer à celles implantées en chute sur le piedmont des collines.

## 2-1-2 Pendant la colonisation française

C'est au XX<sup>e</sup> siècle durant l'époque coloniale (1881-1956) qu'il y a eu une déstabilisation en écartant les centres de décision communautaire et en consolidant le rôle du pouvoir central dans la planification des aménagements ruraux. Cette période s'est traduite par une prise en main par les colons des terres les plus fertiles des plaines qui constituaient les zones de culture pour la population locale. Se voyant dépossédée de terres productives, la population a migré vers les collines pour exploiter des terres moins fertiles sans aucun aménagement de protection. Durant cette période, on a assisté à une accélération de l'érosion. Les boisements en oliviers et amandiers occupent les meilleures terres à sols profonds qui formaient un réservoir inexhaustible. Cette mise en valeur induit un surpâturage à sol superficiel à faible pastoral. Un nouveau mode de gestion des ressources naturelles et une nouvelle économie de marché ont vu le jour engendrant la disparition des certains aménagements traditionnels et l'accélération de l'érosion.

Parmi les préoccupations de l'occupation française fut la connaissance du climat du pays. Une notice datant de 1889 a été suivie en 1906 par une étude sur le climat de la Tunisie. Les interprétations de premières mesures ont permis de dresser les principaux traits climatiques de cette colonie et de ses différentes régions. La connaissance du milieu physique fut également une préoccupation, avec évaluation des surfaces, tracés des profils des cours d'eau, etc.

Cette connaissance avait pour objectif de cerner les virtualités hydrauliques en vue de la mise en valeur agricole. Après la création des associations agricoles en 1897 et deux décennies d'initiatives privées, une centralisation de la politique de l'hydraulique agricole a été opérée à partir de 1920 et le programme général de travaux d'hydraulique agricole date de 1930. Un état des lieux de l'hydraulique en Tunisie a été dressé en 1941 par Gosselin, faisant suite au premier document en la matière, daté de 1912 et traitant des "problèmes de l'hydraulique en Tunisie". En 1933, des groupements d'intérêts hydrauliques ont été créés. Des travaux d'irrigation, d'épandage des crues, d'assainissement de terres agricoles et de recherches d'eau ont été entamés dans ce cadre. Auparavant, un répertoire des eaux avait été dressé en 1931, répertoriant tous les points d'eau, sites éventuels de barrages, oueds, avec indications sur les

débits, pour les ressources en eau souterraine, des coupes géologiques, des essais de débits et les niveaux des aquifères. Les démarches entreprises pour la connaissance et la mobilisation des ressources étaient systématiques, afin de tenir compte de la complexité et de l'interaction des facteurs mis en jeu.

Avant l'arrivée de l'irrigation dans les années 1950, la quasi-totalité de la région était constituée de vastes plaines d'oliviers et des steppes pastorales notamment au sud-ouest de la région habitée par des tribus, pasteurs nomades et semi-nomades qui se déplaçaient en été et pendant les périodes de sécheresse vers les régions fertiles avoisinantes et au nord de la Tunisie. Les immensités steppiques de la plaine étaient parcourues de caprins, d'ovins et de dromadaires, et très partiellement emblavées en orge et en blé dur. L'eau des oueds était peu utilisée du fait de la violence des crues ; toutefois, des ouvrages de déviation étaient construits manuellement pour diriger les inondations vers des champs de céréales ou d'arbustes, surtout à la zone côtière à l'Est. La sédentarisation des nomades a donné lieu à un habitat dispersé, en petits villages familiaux « les *douars* ».

### **2-1-3 Après l'indépendance**

Après l'indépendance en mars 1965, le processus déclenché a continué à sévir eu égard à la pression démographique, à la recherche de meilleurs revenus, à l'emploi d'une mécanisation inadaptée, à l'extension de la céréaliculture et de l'arboriculture conduisant au surpâturage et à la désertification. L'État, bien conscient de la gravité de la situation des terres a entamé des études et des recherches dans la région et particulièrement dans les zones exploitées par une agriculture basée sur la céréaliculture. Il a aussi entamé des travaux via le Centre d'Étude du Sol (CES) sans prévoir les aboutissements des études, ce qui a entraîné des échecs graves tel que l'accélération de l'érosion sur les sols marneux ayant subi des aménagements physiques, le cas de la crue de 1969 et les conséquences néfastes d'une absence d'attachement des agriculteurs aux travaux du Centre d'Étude du Sol (CES).

Depuis les inondations de 1969 qui ont mis en lumière les défaillances des travaux du CES, de mieux saisir leur efficacité dans les différents milieux agricoles, une nouvelle approche s'est établie, consistant en des études plus approfondies du sol et de l'érosion pour

mieux adapter les aménagements. Depuis cette date, les traitements antiérosifs se sont multipliés, tels que la végétalisation pour les terres sensibles, les cordons en pierres pour les terres encroûtées et les banquettes pour les versants possédant des sols assez légers. Dans les délégations sud-ouest où sévit l'érosion éolienne, un savoir-faire s'est accumulé au cours des temps. Les sols agraires qui doivent leur dégradation au labour et au surpâturage ont été protégés par la simple mise en défens pour reconstituer le couvert végétal.

Le parcours différé est bien connu des éleveurs (transhumance) depuis des siècles. Présentement avec la croissance démographique et les pressions exercées sur le milieu naturel, il a fallu l'intervention de l'état pour vulgariser de nouveau les techniques qui ont donné leurs preuves et créer d'autres en se référant à l'expérimentation et la recherche. Cela justifie l'amélioration et la création des institutions de recherche et le développement de l'adaptation des espèces végétales et les études sociales pour mieux déchiffrer le comportement des agriculteurs en vue d'assurer une durabilité des écosystèmes et des agrosystèmes.

Quant à l'irrigation moderne, elle est apparue dès l'indépendance avec des aménagements de l'État et à la construction des puits, incités par des subventions publiques et par l'utilisation des motopompes. Pendant les années 1970, l'État tunisien a tenté de mettre en place des coopératives de production agricole pour rassembler les faibles moyens de production des petits exploitants, mais cette tentative, très mal acceptée par la société rurale, a tôt échoué.

Avant la mise en eau des barrages, le climat variable et violent de l'ensemble de la région (variations mensuelles et annuelles très importantes dues aux phénomènes de l'évapotranspiration et l'évaporation potentielle intense évaluée à plus de 1500 mm, réchauffement, vents secs et inondations répétées, etc.) n'encourageait pas à l'investissement et était à l'origine d'un exode rural non négligeable et motivé par la période de collectivisation de 1969 ; en 1980, on parle de "sous-développement" à propos de la zone sud-ouest de la région du Sahel, du fait de la pauvreté des infrastructures, de l'analphabétisme, du niveau de vie. À cette époque l'agriculture de la région est encore généralement une agriculture de subsistance produisant essentiellement des céréales, des fèves, figues, des amandes et des olives.

Les infrastructures et les systèmes de cultures ont été bouleversés dans les années 1970-80 avec des programmes d'aide du Programme de Développement Régional, qui ont permis la construction de routes, l'électrification de villages, et l'introduction massive de l'arboriculture. Le développement du secteur irrigué est considéré comme le fait saillant de l'économie agricole de la région dans les années 80, et cette évolution s'est surtout manifestée par l'évolution de la surface consacrée au maraîchage, mais ce sont des cultures peu intensives.

Les conditions dures et aléatoires expliquent le très fort attrait exercé par l'irrigation sur les paysans. Leur tendance à minimiser les risques de mauvaises récoltes plutôt qu'à maximiser leurs revenus les conduit à préférer très rationnellement un système de polyculture, assorti d'un mutualisme exploitation familiale basée sur une diversification des revenus familiaux, et à une spécialisation céréalière ou maraîchère.

### **3 Les différents aménagements moderne et traditionnel à mettre en valeur :**

La région d'étude présente un espace dominé par des plaines et de collines interrompues par de nombreuses dépressions et « *Sebkhas* » qui collectent les eaux de ruissellement qui n'aboutissent pas à la mer. Toutes les eaux sont partiellement emmagasinées dans ces dépressions et le reste est infiltré pour alimenter les nappes souterraines qui sont à l'origine du développement notamment d'une agriculture en irriguée qui n'existait pas il y a peine 30 ans. Le Sahel qui constitue un excellent parcours est en train de subir une profonde mutation passant d'un écosystème pastoral à un agro système moderne à base d'arboriculture et de périmètres irrigués afin de parvenir à un équilibre entre l'accroissement continu des besoins évoluant de la population en place et l'impotence des rendements.

#### **3-1 L'organisation sociopolitique traditionnelle dans le milieu rural au Sahel tunisien:**

L'organisation sociopolitique traditionnelle du milieu rural de la région du Sahel tunisien était la confédération tribale et la tribu. Cette organisation a abandonné son existence constitutionnelle et ses fonctions de gestion des ressources naturelles. Elle s'est effondrée

progressivement au profit des découpages administratifs qui n'ont pas toujours respecté les frontières historiques et les unités collectives.

Dans les milieux ruraux abandonnés de la région, notamment les sites visités au sud-ouest aride (ex-*Zemelet Essouassi* et une partie de *Jlass...*), l'esprit d'appartenance tribale persiste encore. L'éclatement des structures sociales anciennes a laissé la place aux institutions modernes de l'état et a favorisé l'émergence d'une microstructure qui est la famille comme conformité et unité de production et de consommation. Pour compléter cette structure sociale et assurer une bonne gestion des ressources naturelles, d'autres structures ont vu le jour comme les associations d'intérêt collectif pour la gestion de l'eau et la conservation des eaux et sol, les comités de développement et les coopératives de services agricoles.

L'étude des agrosystèmes et de l'exploitation des terres agricoles met en relief tous les problèmes relatifs à l'extension de l'agriculture au détriment des parcours, notamment la céréaliculture au nord et l'arboriculture. Il ressort des études faites sur ces deux milieux (semi-aride et aride) qu'ils souffrent d'une inadaptation de l'occupation des sols dont les conséquences ne sont autres que l'aridité et la désertification. Après l'analyse des systèmes d'exploitation en sec et en irrigué dans les différents sites visités, particulièrement dans la zone côtière (Chot Meriem, Enfidha, Hergla, Ksour Essef, Moknine...), il se dégage que dans ce milieu le forçage climatique était bien résolu dans le passé à travers les techniques traditionnelles de collecte des eaux de ruissellement, le parcours différé et par une main-d'œuvre familiale. Actuellement, par contre, le forçage économique trouble tout le système. On ne peut supporter des aménagements coûteux pour récupérer des surfaces cultivables minimales. D'amples informations concernant les agrosystèmes sont disponibles annuellement grâce à des enquêtes sur le suivi de la campagne agricole effectuées par les services statistiques et du Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques.

### **3-1-1 Les aspects fonciers**

Les structures sociales gèrent un espace agricole dont la structure constitue une donnée fondamentale de l'organisation de l'espace rural et de l'utilisation des ressources naturelles. Cet espace est façonné par le régime foncier et les politiques agricoles.

L'impact de l'évolution historique des aspects fonciers marque encore de façon remarquable le paysage et les sous-espaces agricoles.

- Sur toute la bande littorale, particulièrement dans les sites côtiers de Ksour Essef, Enfidha, Chot Meriem, Hergla, Moknine...), la terre est morcelée en de nombreuses propriétés privées, la majeure partie n'excède pas les deux hectares.
- Ailleurs, aux sites de la zone sud-ouest aride à Chorben, Hebira, Ouled Chamekh, Eljem... l'extension des terres collectives et la situation foncière imprécise ont longtemps retardé la mise en valeur efficace des sols, de sorte que ces espaces n'ont connu l'extension de l'arboriculture en sec que récemment, après la régularisation foncière.

Les réformes foncières qui ont commencé par la mise en place des lois de réforme depuis 1958 par la loi n° 58 du 11 juin 1958 jusqu'à la loi n° 71-9 du 16 février 1971 et celle du 6 mars 2000 portant réformes dans les périmètres publics irrigués, pour le développement rural et la réforme agraire embauchée au Sahel tunisien ont abouti au système de petites et moyennes exploitations en faire-valoir direct (plus de 94% de la surface agricole utile), ce qui figure la structure sociale qui est très dévouée et attachée à la propriété. Il existe une inégalité entre les exploitations moyennes (Bouficha, Souassi, Hebira, Eljem...) et les exploitations inférieures à deux hectares (à Moknine, Akouda, Lamta, Sayada, Hergla...).

Les exploitations de moins de 20 hectares représentent 79 % du total des exploitations et ne contrôlent que 44.5 % des superficies. Alors que celles de plus de 50 hectares ne représentent que 21% et en détiennent plus de 15 % des superficies <sup>24</sup>. L'absence de titres, le morcellement et le parcellement constituent des freins pour le développement agricole dans toute la région.

### **3.1.1.1 La réforme agraire dans les périmètres publics irrigués**

La réforme agraire a pour objectif la création d'exploitations durables avec un accès libre, régulier et continu, optimale et adaptable aux progrès techniques et aux méthodes modernes d'exploitation et elle devrait permettre de contribuer à la création des conditions

<sup>24</sup> INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE. (1997). «Le rapport annuel 1997». INS, Sousse, (TUN). p 5.



idéales de bonne gestion des ressources en terre tout en les intégrant dans le processus de développement économique durable, notamment dans les sites d'Eljem, Souassi et Chorbèn... au sud-ouest de la région. Pour cela un remodelage foncier à l'intérieur des périmètres irrigués était nécessaire afin de procéder à l'apurement foncier et juridique de terres, au remembrement des parcelles morcelées et dispersées et à la distribution à et l'utilisation de l'eau d'irrigation.

Cette réforme agraire repose sur des nouvelles lois telles que la loi n°63-18 du 27 Mai 1963 complétée et modifiée par la loi n° 71-9 du 16 février 1971 et celle du 6 mars 2000 portant sur la réforme agraire dans les périmètres publics irrigués, et la création d'un organisme spécialisé dans la réforme agraire « l'Agence de la Réforme Agraire dans les Périmètres Publics Irrigués » en 1977 qui avait pour mission de mettre en œuvre la réforme agraire dans les autres périmètres publics irrigués, où l'aménagement hydraulique est réalisé par l'État, ces lois ont contribué à :

- Préserver les ressources naturelles en eau et en sol dans le cadre d'un développement durable et participatif.
- la réduction du coût des aménagements collectifs (réseau hydraulique, pistes ...)
- l'amélioration de la productivité des facteurs de production et la modernisation de l'agriculture.
- l'amélioration de la qualité de vie des agriculteurs par l'amélioration de leurs revenus par la réduction des coûts d'exploitations.
- La protection des périmètres publics irrigués contre l'urbanisation parce qu'ils sont des zones d'interdiction par la loi et la conservation de la vocation agricole des périmètres d'intervention.
- à l'effort de l'État par l'exportation et pour l'autosuffisance alimentaire.
- une plus grande souplesse dans le choix des équipements d'irrigation.
- doter ces exploitations des titres de propriété (enregistrement des terres non immatriculées et inscription des mutations des terres immatriculées et dispersées) qui facilitent l'accès aux crédits bancaires et donc une réactivation du marché foncier.

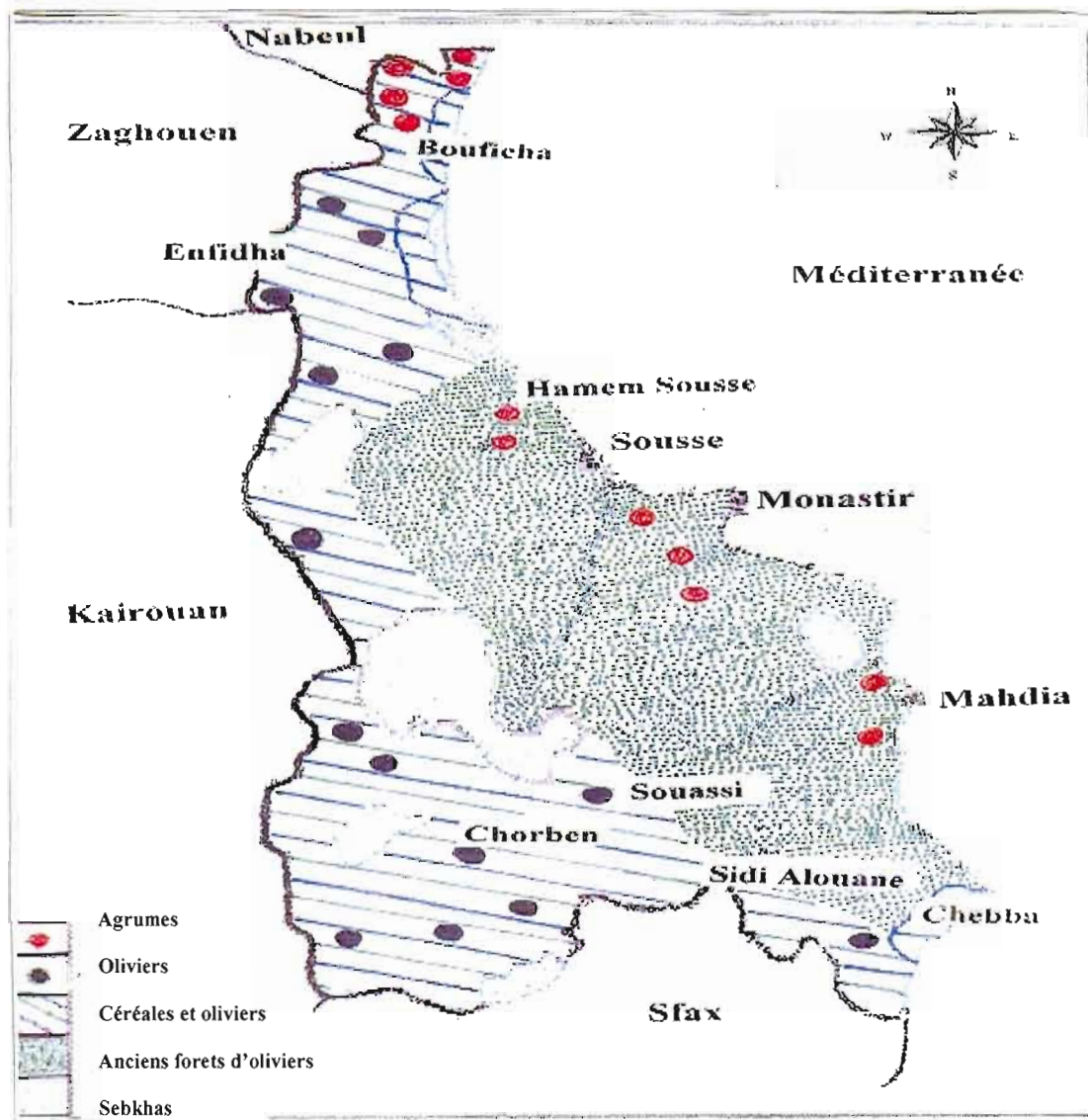


### 3-1-2 Les paysages agricoles

**3-1-2-1 Les grandes cultures en pluviale:** La culture des oliviers et des céréales (blé/orge) prédomine dans toute la région et occupe presque l'ensemble des superficies agricoles chaque année, suivie par les cultures des légumineuses (figure 1.12). L'assolement usuellement pratiqué dans la zone est bisannuel; avec jachère pâturée notamment dans les délégations de Bouficha et Enfidha... Dans ce type d'assolement, le premier déchaumage doit démarrer juste après la moisson, mais en pratique, les agriculteurs ne commencent à labourer qu'au printemps, et ce, dans le but de laisser le troupeau profiter au maximum des fourrages et des levées des mauvaises herbes automnales et printanières. Le niveau technique des agriculteurs est faible malgré les tentatives d'initiation de sensibilisation, observées dans la région et particulièrement la zone interne, concernant les techniques modernes de la plantation des arboricultures et l'introduction des engrais et de la fumure. La préparation du sol n'est pas pratiquée avec beaucoup de soin, le désherbage chimique fait défaut et c'est manuellement que les mauvaises herbes sont déracinées pendant le printemps et données aux animaux.

**3-1-2-1-1 L'arboriculture :** L'olivier est l'arbre qui s'adapte le mieux aux sols de toute la région du Sahel, particulièrement au sud-ouest aride. Il est le principal arbre fruitier suivi de l'amandier puis du figuier et de quelques tentatives d'introduction d'autres espèces comme le poirier et autres, pour leur adaptabilité aux conditions climatiques locales. Le travail du sol des oliviers du Sahel se limite à un labourage profond et en rang. Les rendements dépendent en premier lieu de la pluviométrie, des pratiques culturales qui sont souvent inadaptées et de la fertilisation qui fait aussi défaut surtout dans les sites de la zone interne du Sahel. En outre, la pratique des cultures en intercalaire avec les oliviers est observée dans la quasi-totalité de la région, ceci provoque une compétition pour l'humidité existante qui se répercute sur les rendements. Les plantations arboricoles sont généralement insignifiantes, nous rencontrons surtout les oliviers, les amandiers (figure 1.12), mais on note aussi quelques tentatives pour l'aménagement de petits jardins autour des petites agglomérations rurales dans la région, le figuier, le pêcher, le pommier, mais ceci reste non typique et parfois ne sont pas installés sur des terres à vocations arboricoles. Ces variétés sont en effet moins exigeantes et assurent un

**Figure 1.12 : La carte agricole du Sahel tunisien**



Échelle : 1 : 12 000

maximum de sécurité et d'approvisionnement alimentaire pour la région.

**3-1-2-1-2 Les céréales :** Les agriculteurs n'utilisent pas de variétés à haut rendement, mais ils utilisent surtout les variétés suivantes par ordre de préférence, pour le blé et pour l'orge, une variété locale. Ces variétés sont en effet moins exigeantes et assurent un maximum de sécurité pour l'alimentation de la population locale et régionale. Les rendements constatés dans la région sont de l'ordre de 15 Quintaux/ha pendant les bonnes années pour le blé et de 7 Quintaux/ha pour l'orge.

### **3.1.2.2 Les cultures en irrigué**

Le secteur irrigué au Sahel contribue pour 34 % de la production totale et plus de 20 % de l'exportation agricole. Il assure 95 % de la production maraîchère, 45 % de la production fruitière. Sur le plan social, c'est également un secteur primordial puisqu'il emploie 27 % de la population active. Les périmètres irrigués de ce secteur se répartissent en périmètres publics dont les ouvrages de grande envergure sont totalement réalisés par l'État, et en périmètres privés, fondés sur la petite hydraulique et réalisés par des agriculteurs individuellement avec ou sans support public sous forme de crédits et subventions.

Les périmètres privés, caractérisés par la petite hydraulique, sont concentrés dans des zones irriguées de grande tradition, soit dans la zone côtière, principalement autour des puits de surface. Ces périmètres, qui occupent 24 107 ha, sont totalement gérés par les agriculteurs. Cependant, l'exploitation des ressources qui les alimentent est, dans certains cas, régie par des décrets d'interdiction ou de sauvegarde et reste donc tributaire de l'autorisation de l'administration en cas de surexploitation des nappes (tableau 1.10).

Les périmètres publics, qui sont concentrés essentiellement au Nord et à l'Est de la région et sont irrigués dans la plupart des cas à partir des barrages ou des forages, représentent des entités de quelques centaines d'hectares en moyenne. La demande en eau agricole ne cesse d'accroître en raison de l'évolution du taux de l'intensification de l'agriculture, ce secteur affrontera à l'avenir une situation concurrentielle plus sévère en raison des ressources en eau

limitées et de l'accroissement de la demande des secteurs de l'eau potable, touristique et industrielle dans cette région.

**Tableau 1.10 : Évolution des superficies équipées en économie d'eau (unité : ha)**

	Améliorée	Aspersion	Localisé
<b>Gouvernorat de Sousse</b>	2430	224	225
<b>Gouvernorat de Monastir</b>	2599,5	4	454
<b>Gouvernorat de Mahdia</b>	1035	0	0

#### **Le secteur irrigué, problématique et défis :**

L'économie de la région du Sahel est fortement dépendante du secteur agricole. En effet, au cours de la période 1995-1999, le PIB a augmenté en moyenne de 7 % environ par an, cette augmentation était dans une large mesure tributaire du secteur agricole irrigué. Cependant, la production agricole se trouve fortement liée d'une part, aux climats dépendant de l'eau de pluie, et d'autre part, à la concurrence du tourisme et de l'industrie manufacturière pour l'obtention de grandes quantités d'eau de bonne qualité.

Dans la plupart des périmètres irrigués, l'eau est encore insuffisamment valorisée et mal gérée. Cette utilisation peu rationnelle de l'eau d'irrigation peut avoir des conséquences néfastes sur certains périmètres irrigués :

- \* L'incapacité des réseaux collectifs à satisfaire une demande en eau souvent exagérée et perturbation des tours d'eau avec des conséquences négatives sur la qualité de service obtenue par les usagers.
- \* La surexploitation des ressources en eau souterraine dans les périmètres irrigués par puits de surface, avec des effets pervers qui risquent de compromettre la durabilité des périmètres en question (abaissement du niveau des nappes et leur salinisation progressive).
- \* Le rehaussement et la salinisation des nappes phréatiques dans certains périmètres de la zone sud-ouest, à la suite des pertes d'eau d'irrigation. Ce qui impose le recours de plus en plus fréquent à des solutions coûteuses de drainage souterrain.

\* La réduction de la fertilité des sols agricoles suite à une gestion déficiente de l'eau d'irrigation à la parcelle.

### **Les cultures maraîchères :**

Ce secteur n'est pas vraiment très développé dans la totalité de la région étudiée notamment les délégations sud-ouest arides –à l'exception des stations visitées à Monastir– seuls quelques agriculteurs tentent d'installer quelques vergers et d'utiliser soit des puits privés équipés de motopompe soit d'utiliser les quelques cours d'eau existants lors des périodes pluvieuses dans cette zone (*Meskat*<sup>25</sup> et *Mgouds*<sup>26</sup>). Ce fait a incité les autorités locales et régionales à créer des zones irriguées notamment dans les délégations touchées sérieusement par la sécheresse à Hebira, Souassi et Chorbèn, ce qui est le cas des périmètres d'*Ouled Ben Mosbeh, Elmzehda, El Mayzia* et *Sidi Amor*... qui sont soumis au contrôle des Associations d'Intérêt Collectif (AIC) pour la gestion de l'eau. En effet, l'intensification de cultures irriguées suppose l'existence d'une eau plus abondante (eau superficielle ou des nappes). Ceci n'est pas le cas de la région.

Les principales espèces de légumes cultivées sont : la fève, la bette, la courge, le fenouil, tomate, etc. Les places réservées aux légumineuses sont négligeables. Elles sont surtout rencontrées sous les oliviers (en intercalaires). L'introduction d'une légumineuse dans l'assolement est donc recommandée pour le maintien de la fertilité des sols surtout les terres régulièrement cultivées en céréales ayant besoin d'un enrichissement en azote.

---

<sup>25</sup> Meskat : c'est un terme arabe qui signifie pièce d'eau, réservoir, citerne, etc., selon le dictionnaire arabe-français, al-farâ'id, édition Dar El-Machreq publishers, Beirut, Lebanon, 1971.

<sup>26</sup> Mgouds : Les Mgouds sont des dérivations d'oueds appelées aussi seguia (selon les régions) et dont l'arrosage par épandage est utilisé pour les cultures maraîchères.

## **CHAPITRE II**

### **LES SYSTÈMES D'EXPLOITATION ET DE PRODUCTION**

L'apparition de comportements individualistes est encouragée par la sécurisation et par l'insertion progressive des productions maraichères dans les marchés locaux, grâce à l'irrigation. On trouve néanmoins encore beaucoup d'exploitations vivrières, et l'économie familiale repose largement sur la diversification des revenus.

Les exploitations sont pour la majorité constituées de petites parcelles dispersées, du fait des processus d'héritage et de la disparition progressive de l'indivision.

Quelques grandes exploitations coexistent avec ces petites structures, souvent gérées par des propriétaires sahéliens absenteïstes, et surtout basées sur l'arboriculture et la céréaliculture.

Le système de culture le plus pratiqué en système irrigué est la polyculture dont les composantes sont souvent :

- L'arboriculture : oléiculture et arboriculture fruitière dominée par l'amandier et l'abricotier;
- Les céréales : blé dur et orge ;
- Le maraîchage : pendant l'été généralement des tomates, du piment, des pastèques et du melon, en hiver surtout de la fève.

#### **1 Les systèmes d'exploitation traditionnels**

Une grande partie des exploitations des sites visités demeure sans accès à l'eau. Leur système de culture est fondé sur l'arboriculture des oliviers amandiers et les céréales en sec.

Le faire-valoir direct est dominant : il concerne plus de 80% des superficies cultivées de la région du Sahel dans les années 1980. Par ailleurs, on trouve beaucoup d'exploitations en faire-valoir mixte, pour des raisons d'organisation du travail et de proximité des sources d'irrigation. Les agriculteurs donnent certaines parcelles en faire-valoir indirect et parfois en prennent d'autres, tout en conservant des parcelles en faire-valoir direct. Le métayage, qui permet de partager le risque d'une mauvaise récolte, et les coûts de production, est préféré à la location ; les contrats de métayage sont généralement établis verbalement, pour une

période déterminée et renouvelable. Le mode de faire-valoir indirect dominant est le « *Khemassa* »<sup>27</sup>, dont le propriétaire de la terre fournit tous les moyens de production et récupère 4/5 de la récolte et le travailleur 1/5. Les termes de ce contrat sont modifiés sur une parcelle irriguée dont l'accès à l'eau est fourni par le métayer.

On trouve aussi la « *Mgharsa* »<sup>28</sup>, contrat de mise en valeur des terres par plantation dont le travailleur plante la terre du propriétaire et peut cultiver en intercalaire jusqu'à la mise en production des arbres, après quoi le travailleur garde la moitié de la terre cultivée pour lui. Un contrat de type « *Dhehara* »<sup>29</sup> engage le métayer à apporter les forces motrices et humaines, et la moitié des intrants, la récolte étant partagée par moitié entre les deux partenaires. Enfin, deux personnes peuvent s'associer par un contrat de mise en valeur comme le contrat de « *Mouzaraâ* »<sup>30</sup>, par lequel le propriétaire d'une terre en sec la confie à un agriculteur, qui aménage un accès à l'eau et doit au propriétaire le 1/4 de sa production de maraîchage. Au terme d'une durée de cinq ans environ, le propriétaire reprend sa terre, et selon le type de contrat peut rémunérer son associé. Ces aspects d'association permettent aux agriculteurs de dépasser leurs limites économiques ou parcellaires pour bâtir même des puits... Les exploitations en sec profitent de ces rapports de faire-valoir indirect pour placer leur main d'œuvre familiale, enrichir leur trésorerie, et apprendre les techniques d'irrigation, parfois dans l'espérance d'y accéder un jour.

Les parcelles exploitées en sec sont cultivées en blé dur et orge et plantées en oliviers, et en amandier; en irriguée, il est fréquent d'observer certaines cultures sur une même parcelle. Fréquemment, une partie seulement de la surface totale est cultivée, l'autre partie étant abandonnée en jachère avant la mise en culture de plantes exigeantes en nutriments (les pastèques et les melons...)

---

<sup>27</sup> « *Khemassa* » : C'est l'association au 1/5, lorsque le métayer fournit l'accès à l'eau, avec une variante par rapport à l'image traditionnelle de la « *khemassa* » puisque le métayer fournit les moyens de production et obtient les 4/5 du produit brut.

<sup>28</sup> « *Mgharsa* » : C'est une sorte d'échanges en mode de faire-valoir indirect portant sur des parcelles non irriguées.

<sup>29</sup> « *Dhehara* » : C'est une association à moitié en général lorsque le propriétaire est sans accès privé à l'eau et recherche un contrat de type « *Dhehara* ».

<sup>30</sup> « *Mouzaraâ* » : Concerne les parcelles d'au moins 15 hectares non équipées des puits et non irriguées, sont données en faire-valoir indirect pendant 4 ans au métayer, à condition que celui-ci l'équipe d'un puits. Le métayer profite entièrement des productions, et restitue la parcelle équipée à son propriétaire au terme du contrat.

On trouve ainsi, en plus de l'olivier et des céréales, du maraîchage d'hiver, principalement la fève, la tomate et le piment d'arrière-saison, et du maraîchage d'été, particulièrement la pastèque, le melon et le piment de saison. Ces cultures n'ont pas les mêmes exigences en termes de précédents culturaux. Par exemple, le piment se cultive généralement après une jachère travaillée ou des céréales et la fève, après les solanacées.

Ces successions culturales sont permises par la composition diversifiée de la sole cultivée dans tous les sites de la région, par la mise en jachère d'une partie de la parcelle dont le taux de surface irriguée est en accroissement, ainsi que par une rotation des cultures entre parcelles lorsque c'est possible. Citons aussi que les céréales et le maraîchage sont habituellement cultivés entre les oliviers, l'espacement intercalaire étant suffisamment large (d'environ 15 mètres), ce qui permet aux oliviers de bénéficier de l'eau d'irrigation apportée à ces cultures.

Ce choix de polyculture permet de limiter les risques économiques et phytosanitaires, de valoriser la diversité des parcelles et de satisfaire partiellement les besoins alimentaires de la famille. Les observations montrent que la composition culturelle des soles irriguées dépend du statut de la terre (faire-valoir direct ou indirect), du type d'accès à l'eau (accès privé ou réseau collectif), de la taille de la parcelle et de la surface irrigable dans l'exploitation.

### **1-1 Les techniques suivies et les pratiques adaptées, en vue d'une gestion efficace de l'eau pour une culture pérenne :**

Les techniques et les modes de l'exploitation agricole dans le contexte climatique (aride et semi-aride) au Sahel tunisien sont fondés essentiellement sur l'interception et le contrôle des eaux de ruissellement. Le savoir technique requis dans ce modèle de pratiques agricoles repose sur une organisation des terres permettant une gestion efficace de l'eau pour l'établissement des cultures pérennes et le renouvellement saisonnier des cultures irriguées, essentiellement les cultures maraîchères.

Grâce à ses ressources, les options du développement économique dans la quasi-totalité des sites examinés ont fait de l'exploitation de l'eau le secteur prioritaire pour promouvoir



l'agriculture irriguée pour assurer l'agro-industrie et les exportations. Détenant une place prépondérante les cultures pratiquées dans la région, elles occupent environ 534561 ha (avec 24107ha d'irrigués), dont les oliviers représentent la principale valeur de l'agriculture sahélienne. Au gouvernorat de Sousse, leur surface est de 75 000 hectares, soit 44 % du total des terres exploitées et plus de 92,5 % de l'arboriculture fruitière<sup>31</sup>.

En effet, des techniques hydrauliques modestes pratiquées par les agriculteurs ont rendu possible la mise en culture des terres jadis incultivables. La création de milieux favorables au développement de l'agriculture n'a été possible que par l'invention de divers systèmes de captage des eaux de ruissellement «*Mgouds, Rabtas...*». Ces eaux ne sont pas seulement mises au service de l'agriculture, mais permettent, entre autres usages, de satisfaire les besoins évoluant des populations, de l'industrie et du secteur touristique en eau potable. Il s'agit de «*Meskat*», dont l'objectif est de combler les besoins en eaux d'irrigation des plantations d'oliviers, des «*Mgouds*» pour inonder les cultures maraîchères ou des «*Faskiyas*»<sup>32</sup> destinées à la fois à l'approvisionnement des populations en eau potable et à abreuver le bétail, tous ces ouvrages sont fondés sur l'interception des eaux de ruissellement. Aujourd'hui, les «*Meskats*»<sup>33</sup> sont toujours la composante la plus importante de l'organisation des paysages périurbains et ruraux. Mais, face à la pression d'une urbanisation très consommatrice d'espace, ils demeurent très fragiles et beaucoup sont en voie de disparition pour des raisons techniques et économiques.

On a le système des «*Séguis*» (canal d'eau d'irrigation) qui occupent des aires d'épandage des eaux de ruissellement. Ils sont situés à l'aval des versants collinaires qui collectent les eaux de ruissellement assez chargées en limons fertiles que l'agriculteur canalise pour irriguer ses champs cultivés, c'est un moyen d'adaptation et de lutte contre la sécheresse.

---

<sup>31</sup> COMMISSARIAT RÉGIONAL DE DÉVELOPPEMENT AGRICOLE DE SOUSSE, (2003). «Rapport annuel, Bilan de l'agriculture 2003 ». Ministère de l'Agriculture, Commissariat Régional de Développement Agricole de Sousse (TUN). p. 6.

<sup>32</sup> La *Faskiya* est un bassin avec jet d'eau, considérée comme un grand réservoir d'eau destiné à la fois à l'arrosage des cultures et à l'approvisionnement domestique en eau potable.

<sup>33</sup> L'origine romaine de l'ouvrage *meskat* semble confirmée par l'usage du terme impluvium qui désigne selon le dictionnaire PETIT ROBERT, édit. 1987, un bassin creusé au milieu de l'atrium pour recueillir les eaux de pluies.

Le système des «*Rabtas* » (levées de terre) que les agriculteurs de cette zone utilisent aussi pour la collecte des eaux de ruissellement. Ce système est bien adapté à la géologie des collines notamment aux zones Sud-ouest. L'agriculteur exploite les ravins en y installant des barrages en pierre qui piègent les alluvions et les eaux de ruissellement. Ces terrasses formées de sols limoneux très profonds apportés par les eaux emmagasinent des réserves importantes d'eau et permettent de développer l'arboriculture.

Actuellement ces systèmes ont beaucoup perdu de leur efficacité par manque de main d'œuvre pour entretenir les aménagements. Les jeunes agriculteurs désertent ces lieux pour migrer vers les grandes villes de la région et les zones touristiques et industrielles (Hammam Sousse, Monastir, Sousse, Jammel, Ksar Helel, Moknin, Mahdia...) toutes proches où ils sont mieux primés.

Outre l'arboriculture qui est la principale spéculation, on pratique aussi la céréaliculture et les cultures fourragères pour les besoins de la famille et du bétail. Selon différents auteurs ayant étudié les systèmes d'irrigation dans la région du Sahel tunisien, ces derniers sont décrits comme un système d'aménagement hydraulique traditionnel qui consiste à augmenter la quantité d'eau reçue par les cultures en récoltant les eaux pluviales grâce à l'utilisation d'impluviums<sup>33</sup>. Toutefois, la définition la plus exhaustive que nous adoptons dans ce travail est celle donnée par J. Despois<sup>34</sup>:

« le principe de la méthode, qui a fait son originalité, consiste à utiliser comme impluvium la surface des collines qui, souvent encroûtées, n'est cultivable en aucune façon, et à planter les oliviers dans les vallons et au bas des versants... L'impluvium, appelé «Meskat», est seulement aménagé au moyen de longues rigoles obliques par rapport à la pente, suivant un tracé tel que toute l'eau de ruissellement est conduite aux arbres. Ces rigoles aboutissent aux "Mankaa", terrasses irrégulières, plus exactement casiers superposés où sont plantés les oliviers; des buttes de terre Ttabia) bordent les casiers et empêchent l'eau de s'écouler, sauf parfois dans les "Mankaa" situées plus bas ».

---

<sup>34</sup> DESPOIS J. (1955). «La Tunisie orientale : Sahel et la basse steppe». Études géographiques, PUF, Paris. p 257,258.

En retenant ainsi les eaux, les casiers permettent d'irriguer des oliviers et ralentissent, en même temps, la vitesse du ruissellement, tout en maintenant un profil constant du sol vis-à-vis de l'érosion. Par la suite, les eaux s'acheminent de casier en casier, selon un écoulement gravitaire, moyennant une petite ouverture. Les eaux récoltées dans les casiers les plus bas, finissent par se déverser dans le ravin où les dépressions les plus proches.

## 1-2 Les proportions du « *Meskat* » et l'efficacité du système

Les « *Meskats* » participent efficacement au maintien de l'oléiculture, leur bon fonctionnement est assuré par le respect des proportions des différentes parties qui le constituent. La surface nécessaire de l'impluvium (zone de collecte des eaux de ruissellement) est estimée au double de celle de la zone d'accumulation de ces mêmes eaux. Dans les conditions d'une exploitation rationnelle, des eaux de ruissellement, les casiers plantés d'oliviers, sont aménagés avec une pente de 2 %. Chaque casier est bordé par des « *Tabias* » (levées de terre) dont les dimensions sont adaptées à la nature de la pente générale de l'ouvrage. L'objectif est en effet de garder les eaux, le plus longtemps possible, auprès des racines des oliviers. Les eaux ainsi accumulées à la suite de fortes précipitations peuvent atteindre une hauteur de 45 cm par casier, ce qui permet l'infiltration d'une plus importante quantité de ces eaux nécessaires pour l'alimentation de la nappe tout en assurant la protection de la banquette contre l'érosion. L'étendue de la culture de l'olivier ne dissimule cependant pas les dimensions réduites de chaque olivette. Les casiers sont dimensionnés, non seulement à l'échelle des conditions naturelles (eau et topographie) mais aussi à l'échelle du travail manuel.

L'étendue et l'importance des aménagements de « *Meskat* » sont l'œuvre permanente d'agriculteurs appartenant à des communautés soucieuses du maintien de l'exploitation. Dans le cas des terres agricoles des sites côtiers observés, la conservation de la propriété domestique et indivisible a constitué le fondement de la cohésion sociale locale. C'est grâce à ce statut des terres que les énormes travaux des *Meskats*, exigeants aussi bien en matériel qu'en hommes, ont pu être accomplis.

« Les zones Sahéliennes traditionnelles, avec leurs petites propriétés morcelées à l'infini et le plus souvent travaillées par le propriétaire même, sont généralement les mieux protégées contre l'érosion : le cas du Sahel soussien, avec ses terrasses, ses plantations et ses jardins, est des plus typiques » <sup>35</sup>.

Le «*Meskat*» est considéré comme un bien communautaire du fait de son adaptation par un groupe social formé de plusieurs héritiers. Le caractère individuel, même s'il se présente dans certains cas, n'altère pas la règle coutumière de partage des eaux de ruissellement.

« Les oliveraies séparées de l'impluvium et établies en deuxième position profitent de leur part de ces eaux au moyen de ruisseaux secondaires qui leur conduisent directement les eaux découlant de l'impluvium » <sup>36</sup>.

Dans le cas où des oliveraies sont dépourvues d'impluviums, et afin de se partager les eaux de ruissellement.

« les agriculteurs auront le travail complémentaire et régulier de nettoyer tous les ruisseaux qui sillonnent l'impluvium pour faciliter l'écoulement des flots pluviaux » <sup>37</sup>.

Ces pratiques collectives garantissaient la pérennité du système de «*Meskat*» en exigeant l'association et la solidarité entre les agriculteurs. Cette solidarité était au centre de la conscience communautaire des paysans de la région, ce que confirmait Jean Despois :

« La communauté villageoise a surtout pour base une communauté agraire..., des *Henchirs* <sup>38</sup> sont encore possédés collectivement; et même sur ceux qui sont appropriés individuellement, l'empiétement d'un voisin étranger au *Cheikhat* <sup>39</sup> soulève la résistance

---

<sup>35</sup> PONCET, J. (1962). «Les rapports entre les modes d'exploitation agricole et l'érosion des sols en Tunisie», Secrétariat d'État à l'Agriculture, Études et Mémoires n°2, Tunis, (TUN).p 116.

<sup>36</sup> Extrait d'un entretien réalisé le 27 juin 2007 avec T. Belgacem technicien en agronomie et agriculteur.

<sup>37</sup> Ibid.

<sup>38</sup> Le terme « *Henchir* » désigne une unité d'organisation agricole traditionnelle marquée par des agglomérations d'habitat rural. Le « *Henchir* » est un domaine de plusieurs hectares qui renferme essentiellement des cultures céréalières, de l'arboriculture et de l'élevage.

<sup>39</sup> « *Cheikhat* » : est une division territoriale du territoire de chaque délégation et qui désigne la plus petite unité administrative d'un gouvernorat.

de tous les habitants. Il est généralement admis que les bêtes du village, que gardent un ou plusieurs bergers, peuvent pâturer sur les terres après les récoltes et, dans une certaine mesure, dans les olivettes elles-mêmes. L'aire ou les aires à battre sont aussi à tous, de même que tout le monde peut utiliser l'eau de certains puits. Il y a donc une évidente communauté d'intérêts, malgré l'appropriation privée des terres et l'individualisme des gens». <sup>40</sup>

Or aujourd'hui, les grands ouvrages hydrauliques de type barrages, lacs collinaires, jetées, banquettes, etc. extrêmement exigeants en moyens matériels et humains, sont l'œuvre de l'état et non des communautés agricoles. Les «*Meskats*» font toutefois appel à une tradition communautaire qui a contribué à la réalisation et la conservation des milliers d'hectares aménagés en «*Meskats*» dans le Sahel tunisien.

## 2 Les systèmes modernes

Les périmètres publics irrigués de la région du Sahel tunisien sont encore gérés par l'État pour la quasi-totalité. Leur infrastructure ancestrale, l'état des routes, des difficultés de gestion de l'eau engendrent des problèmes d'absentéisme et de concentration des moyens de production sur les parcelles hors des périmètres publics irrigués, sont à l'origine des baisses des rendements.

Dans les différents sites visités des deux zones, les agriculteurs adoptent abondamment les cultures intercalaires entre les oliviers. L'irrigation est le plus souvent effectuée à la raie pour l'arboriculture, et l'eau est généralement transportée par des tuyauteries en plastique entre le captage et le champ, ou dans des canalisations revêtues à ciel ouvert dans les périmètres publics irrigués. Cependant, sous l'impulsion des incitations publiques et de la vulgarisation technique, l'irrigation localisée au goutte-à-goutte, utilisée depuis quelque temps dans quelques grandes exploitations, commence juste à faire son apparition dans les petites exploitations. Pour la répartition des superficies des périmètres irrigués par source d'alimentation est la suivante:

- 41% par les puits de surface;

---

<sup>40</sup> DESPOIS J. (1955). Op. cit. p. 334.

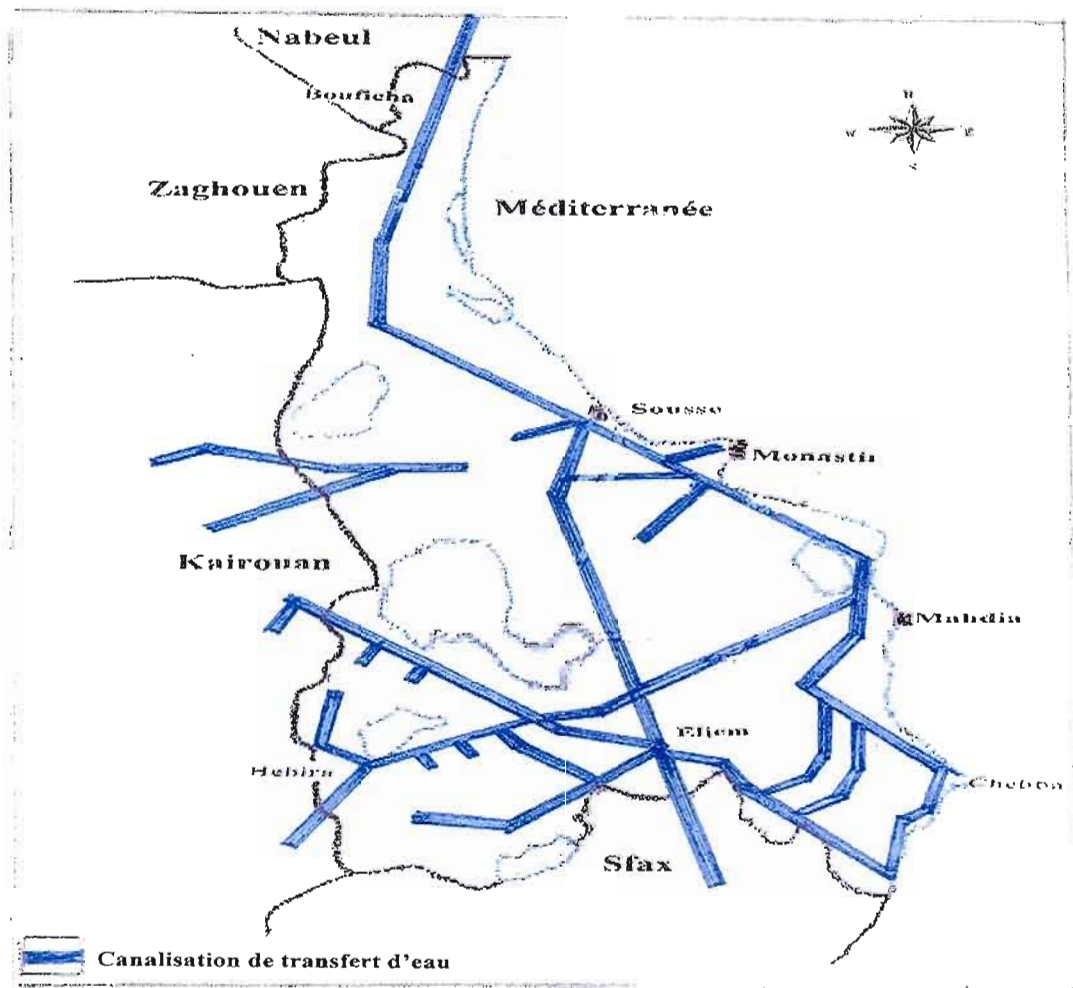
- 31% par les barrages;
- 22% par les forages;
- 1% par les oueds;
- 5% par les eaux usées traitées.

### **2-1 Les origines essentielles des eaux d'irrigation.**

En raison de sa rareté, l'eau constitue un enjeu fondamental pour le développement actuel et futur de la région (figure 1.1). Une politique hydraulique, appuyée sur une gestion des barrages, des puits, des lacs collinaires, et de distribution pour stocker l'eau des périodes pluvieuses, les eaux des crues et des nappes pour les périodes sèches, est menée depuis ces trois dernières décennies (figure 2.1).

La rareté des ressources en eaux est un facteur déterminant dans la politique de leur mobilisation, ainsi que du rôle de l'État, principal acteur de la politique hydraulique dans la région. En raison de sa rareté, l'eau constitue donc un enjeu fondamental pour le développement actuel et futur du domaine agricole de tout le Sahel (tableau 2.1).

**Figure 2.1 : Carte du transfert de l'eau des zones de production vers les zones de consommation**



Échelle : 1 : 10 000

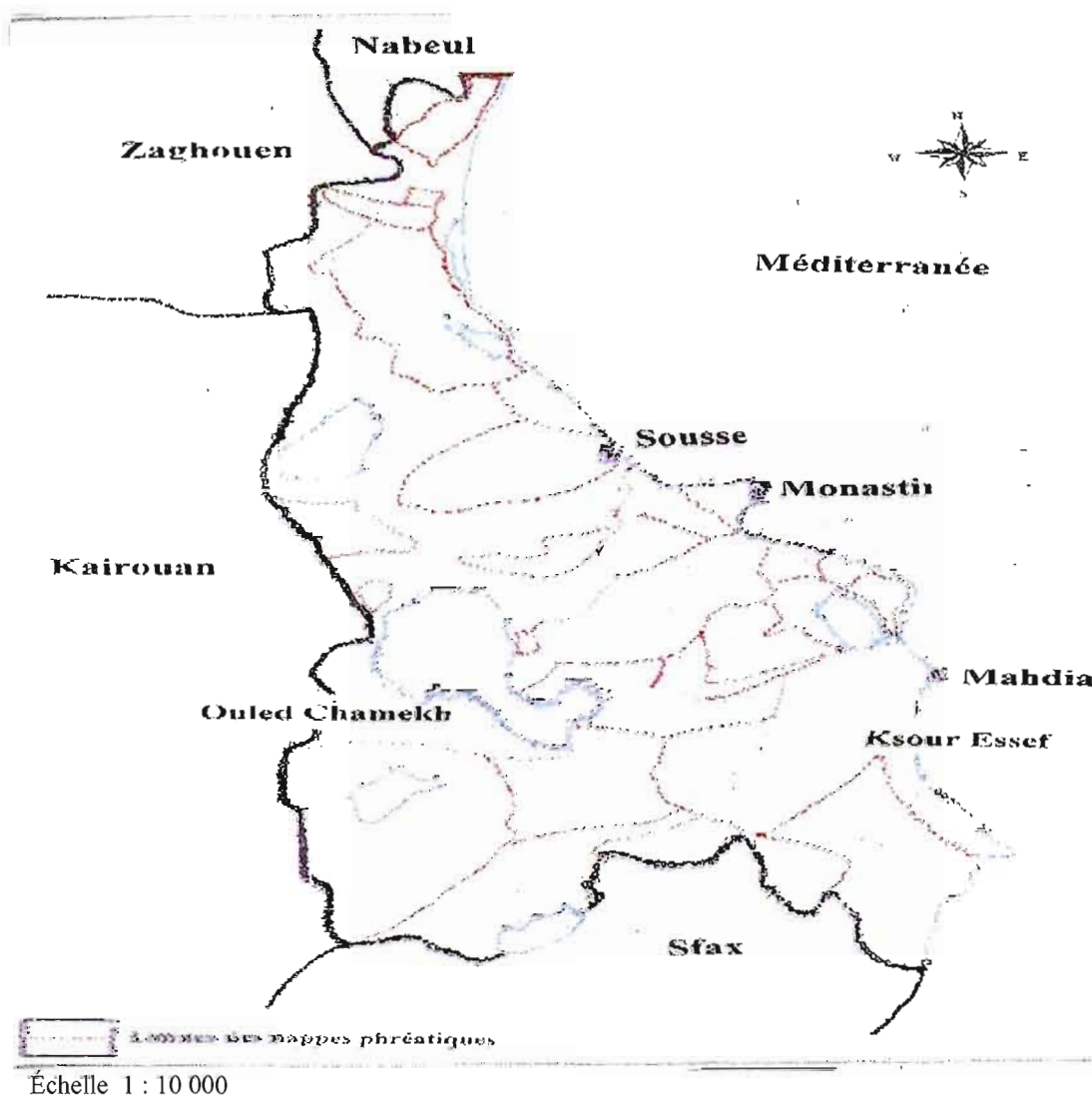
**Tableau 2.1 : Les ressources en eau de la région du Sahel tunisien.** <sup>41</sup>

<b>Gouvernorats</b>	<b>Sousse</b>	<b>Monastir</b>	<b>Mahdia</b>	<b>Tout le Sahel</b>
<b>Eau de surface :</b>				
<i>Apport total</i>	12 Mm <sup>3</sup> /an	2 Mm <sup>3</sup> /an	9 Mm <sup>3</sup> /an	23 Mm <sup>3</sup> /an
<i>Apport mobilisable</i>	3 Mm <sup>3</sup> /an	1 Mm <sup>3</sup> /an	0 Mm <sup>3</sup> /an	4 Mm <sup>3</sup> /an
<i>Apport mobilisé</i>	0	0	0	0
<b>Nappes phréatiques :</b>				
<i>Ress. exploitable</i>	13,2 Mm <sup>3</sup> /an	7,6 Mm <sup>3</sup> /an	8,5 Mm <sup>3</sup> /an	34,6 Mm <sup>3</sup> /an
<i>Ress. exploitées</i>	11 Mm <sup>3</sup> /an	7,4 Mm <sup>3</sup> /an	8,5 Mm <sup>3</sup> /an	26,9 Mm <sup>3</sup> /an
<i>N. de puits</i>	2699	3203	7070	12972
<b>Nappes profondes :</b>				
<i>Ress. Exploitable</i>	8,1 Mm <sup>3</sup> /an	5,4 Mm <sup>3</sup> /an	3 Mm <sup>3</sup> /an	16,5 Mm <sup>3</sup> /an
<i>Ress. Exploités</i>	10 Mm <sup>3</sup>	2,4 Mm <sup>3</sup>	3 Mm <sup>3</sup>	15,4 Mm <sup>3</sup>
<i>N. de forages</i>	52	21	36	109
<b>Nappes phréatiques :</b>				
<i>N. total des puits</i>	2699	3203	7170	13072
<i>Puits en cours</i>	0	0	451	451
<i>Ressources annuelles</i>	11 Mm3	7,4 Mm3	8,5 Mm3	26,9 Mm3
<i>Exploitation annuelle</i>	31,2 Mm3	7,6 Mm3	13,8 Mm3	52,6Mm3
<b>Nappes profondes :</b>				
<i>Forages exploités</i>	45	14	24	83
<i>Exploitation annuelle</i>	10,79 Mm3/an	1,89 Mm3/an	2,66 Mm3/an	15,34 Mm3/an
<i>Ressources exploitables</i>	8,13 Mm3/an	5,4 Mm3/an	3 Mm3/an	16,53 Mm3/an
<b>Eaux de surface :</b>				
<i>Volume annuel</i>				5 Mm3/an

<sup>41</sup> MINISTERE DE L'AGRICULTURE. (1993). Rapport : les ressources en eau et environnement, Direction générale des ressources en eau (DGRE), Ministère de l'Agriculture (TUN), p. 12.



**Figure 2.2 : Carte des nappes phréatiques au Sahel**



### 2-1-1 Les ressources hydrauliques et les barrages :

Les aménagements hydrauliques avec la construction des barrages à multiples exploitations des eaux (tableau 2.2), ont très tôt été envisagés pour stocker l'eau des saisons de pluie, pour assurer le développement de l'irrigation et s'affranchir des aléas du climat. Ces barrages permettent de mobiliser des quantités d'eau suffisantes pour garantir l'irrigation les cultures pendant toute l'année et notamment pendant les temps secs. Ces ouvrages fournissent à l'agriculture de l'eau moins chère que tous les autres procédés.

**Tableau 2.2 : Les ressources hydrauliques dans la région du Sahel (en m<sup>3</sup>).<sup>42</sup>**

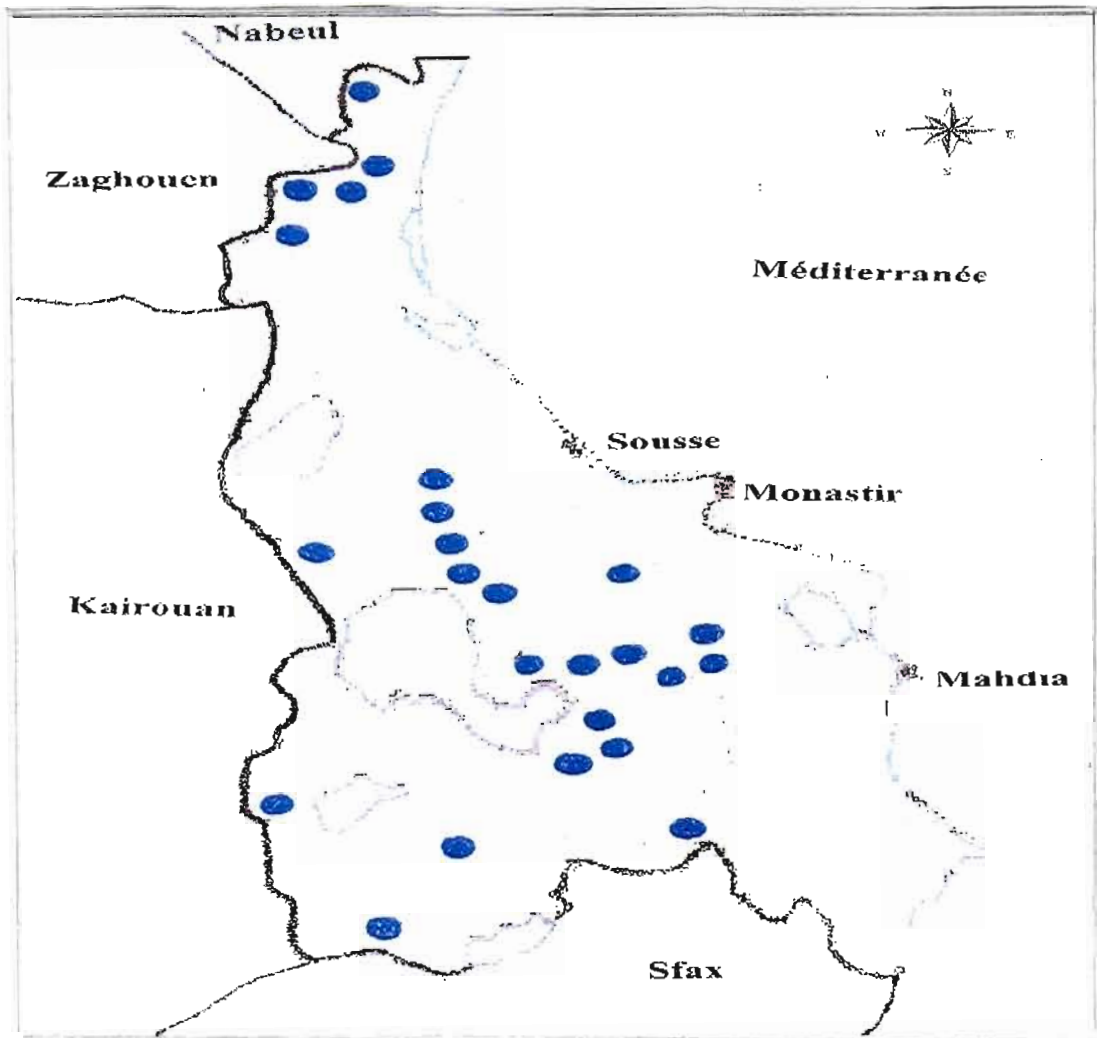
	Gouvernorat de Sousse	Gouvernorat de Monastir	Gouvernorat de Mahdia
<b>Barrages</b>	22 millions m <sup>3</sup>	/	/
<b>Lacs collinaires</b>	2,5 M m <sup>3</sup>	0,170 Mm <sup>3</sup>	10 Mm <sup>3</sup>
<b>Barrages collinaires:</b>	13,6M m <sup>3</sup>	0,350 Mm <sup>3</sup>	/
<b>Sondages</b>	60 (14,8 Mm <sup>3</sup> )	54 unités	/
<b>Puits de surface</b>	2203 (13,2 Mm <sup>3</sup> )	/	8 975 dont 3 770 équipés

### 2-1-2 Les ouvrages de dérivation de crues ou de captage de rivières :

Ce type de barrages établis presque dans la quasi-totalité dans la région notamment dans les sites sud-ouest du Sahel, n'a pas pour rôle de garder l'eau. Il ne s'agit que de dériver les eaux, soit de cours d'eau pérennes, soit de cours d'eau épisodiques, pour les guider dans les canaux d'irrigation.

<sup>42</sup> INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE (2005). Op. cit., p. 8.

Carte 2.3 : Les lacs collinaires au Sahel



Échelle 1:10 000

### **2-1-3 Les sources et foggaras :**

De multiples sources dans la région sont captées pour l'irrigation de surfaces limitées étant donné le débit disponible relativement faible, de l'ordre de quelques litres/secondes. La qualité des eaux ne varie guère dans le temps, mais elles ont la réputation d'être plus chargées que les eaux de barrage. Aux sources se rattachent les foggaras ou aqueducs souterrains creusés par les autochtones pour capter des nappes phréatiques de terrains gréseux et conduire leurs eaux par gravité jusqu'à leur travail.

### **2-1-4 Les puits et forages plus ou moins profonds :**

Les eaux fournies par ces aménagements ont encore une composition stable dans le temps, mais variable selon la nature de la roche-magasin exploitée. Elles peuvent être douces ou très salées. Il en est de même pour les puits. Depuis 1970, le nombre total des puits de surface au gouvernorat de Mahdia là où on trouve les zones les plus touchées par l'aridité (sud-ouest) captant la nappe a augmenté à 8 975 puits, dont 3 770 équipés de groupes électrogènes et de groupes diesel. En 1993 les statistiques <sup>43</sup> ont évalué les ressources exploitables des nappes profondes dans toute la région à 16.5 Mm<sup>3</sup> et pour les ressources exploitées à 15.4 Mm<sup>3</sup>, avec un nombre de forages de 109, la déduction de cet accroissement est en rapport avec l'amélioration des rendements des terrains et avec les mesures financières d'incitation pour l'utilisation de techniques d'économie d'eau assurée par l'État tunisien, bien que cette composante ne fasse pas partie des projets d'aménagement. Cet accroissement du nombre de puits s'est traduit par l'accroissement du taux d'exploitation annuel. Selon les experts, les ressources exploitables de la nappe sont en déficit, et ce déficit en accroissement continu. Le tableau (2.3) présente un résumé des principaux rapports entre les différents types de ressources en eau et les usages sectoriels au niveau régional. Il montre l'importance des nappes profondes dans la satisfaction des besoins des usagers de la région. Ces nappes font donc l'objet de toutes les convoitises et concentrent sur elles plusieurs enjeux en termes de concurrences intersectorielles.

---

<sup>43</sup> MINISTERE DE L'AGRICULTURE (1993). Op. cit. p 10.

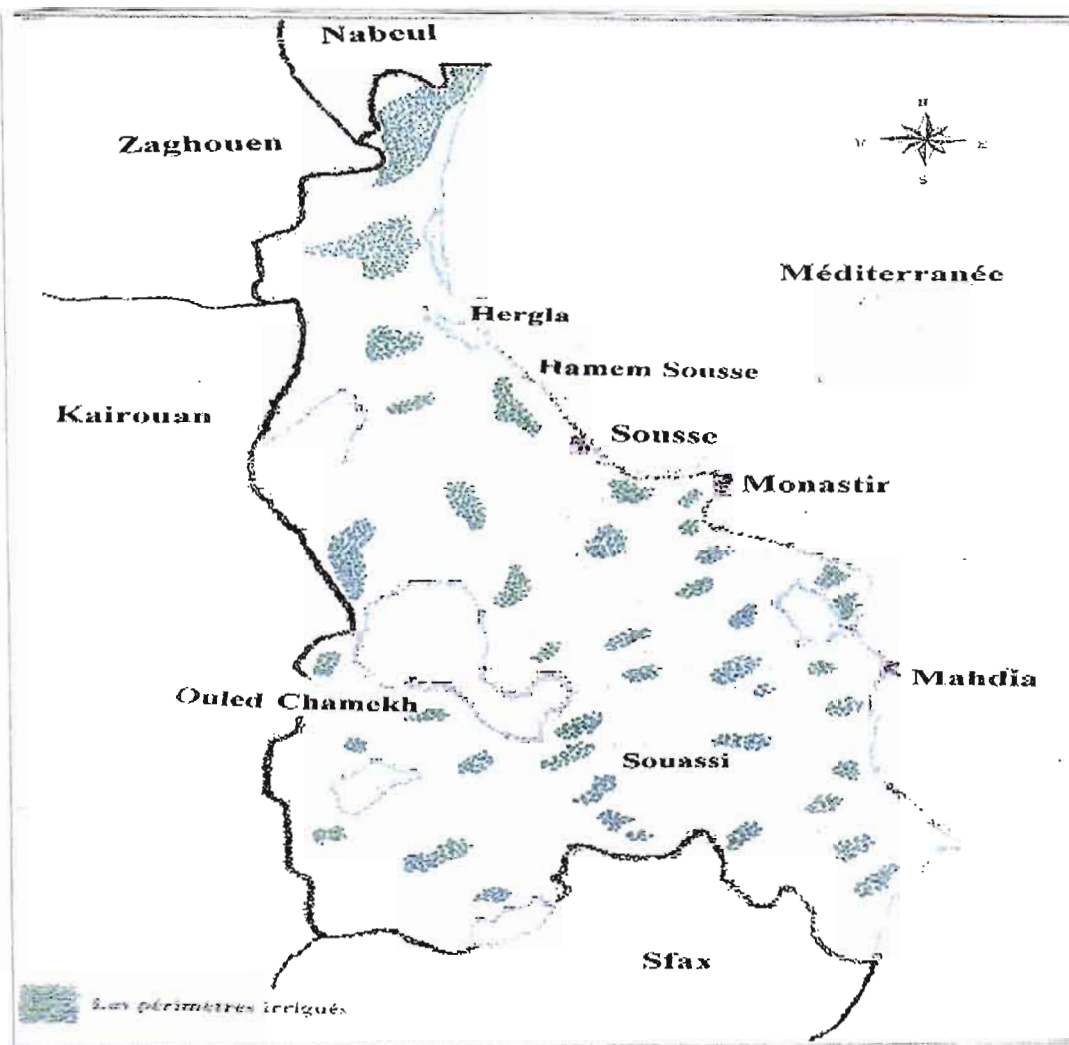
**Tableau 2.3 : Relations entre types de ressources et usages sectoriels de l'eau**

	Eaux de surface (pluies et ruissellement, oueds)	Eaux souterraines (nappes phréatiques et nappes profondes)	Ressources non conventionnelles
<b><u>ALIMENTATION EN EAU POTABLE :</u></b>			
* <b>urbain</b> (habitat dense)		*Réseau SONEDE (compteurs privés)	* Dessalement des eaux saumâtres et à moyen terme de l'eau de mer
* <b>rural</b> (habitat dispersé)	*Citernes enterrées ( <i>majel, fesguia</i> )	*SONEDE et GIC eau potable : approvisionnement collectif à partir de potences et de bornes fontaines, rares compteurs privés, vente d'eau par citerne (sécheresse)	
* <b>tourisme</b> (hôtels)		*Réseau SONEDE (transferts d'eau à partir de nappes de la région)	* Dessalement des eaux saumâtres et projet pilote de dessalement de l'eau de mer à Monastir et Hamem Sousse et pour les espaces verts.
<b><u>INDUSTRIE :</u></b>		Réseau SONEDE, forages dans les nappes profondes	
<b><u>AGRICULTURE :</u></b>			
* pluviale	* Aménagements de CES traditionnels et modernes ( <i>fesguia,</i> <i>jessour, tabia</i> )	* Achats d'eau (transport par citermes tractées) auprès des GIC et des forages privés ou publics. Irrigation d'appoint de l'arboriculture, abreuvement du bétail	
* irriguée		* Périmètres irrigués privés et GIC irrigation (puits de surface, forages, achats d'eau)	* Eaux usées traitées : projet des zones internes.

SONEDE : Société nationale d'exploitation et de distribution des eaux.

GIC : Groupements d'intérêt collectif.

**Figure 2.4 : Carte des périmètres irrigués au Sahel**



Échelle : 1 : 10 000

### **Actions de la stratégie actuelle d'économie d'eau d'irrigation au Sahel tunisien :**

#### **\* Actions au niveau des périmètres publics et des réseaux collectifs d'irrigation.**

Le mode de fonctionnement des réseaux collectifs qui caractérise les périmètres publics irrigués conditionne généralement les actions possibles d'amélioration de l'économie d'eau au niveau des exploitations agricoles. Il est, en effet, illusoire que les producteurs s'attachent à investir dans le domaine de l'économie d'eau, si la qualité de service obtenu à partir des réseaux d'irrigation est insuffisante. On recense au niveau des réseaux d'irrigation plusieurs types d'actions suivis dans toutes les stations visitées dans la région :

- \* L'amélioration de l'efficacité des réseaux collectifs d'irrigations, par la mise en place des programmes d'entretien et maintenance des périmètres publics et l'installation de système de comptage, afin de limiter les pertes d'eau au niveau du transport et de la conduite de l'irrigation à la parcelle.

- \* L'augmentation de la fiabilité du tour d'eau et des horaires d'arrosage afin de s'adapter aux exigences de la demande en eau des agriculteurs et la construction d'un réservoir de stockage au niveau du point de production (forage), et l'augmentation de la capacité des réservoirs existants pour tenir compte des heures d'effacement de l'énergie électrique.

- \* La valorisation économique de l'eau d'irrigation par l'adoption d'une tarification appropriée. L'orientation actuellement en vigueur consiste à augmenter les tarifs d'eau d'irrigation de 15% par an, en vue d'encourager progressivement les économies d'eau et d'assurer aux organismes de gestion les moyens financiers nécessaires à la maintenance des systèmes collectifs d'irrigation.

#### **\* Actions au niveau des périmètres privés**

Dans certains périmètres irrigués par puits de surface, certaines actions prévues par la stratégie nationale d'économie d'eau sont promises :

- \* Une meilleure connaissance du nombre de puits de surface équipés, des assolements et des cultures réellement pratiquées, et des techniques d'irrigation employées pour définir les

actions appropriées à chaque périmètre afin de prévenir la surexploitation et la salinisation des nappes.

- \* Dans les périmètres dont la nappe souffre d'une surexploitation de ressource en eau, il y a eu lieu d'adopter un plan de sauvegarde dont l'objectif est de ramener progressivement à l'équilibre le niveau d'exploitation de la nappe.

- \* L'interdiction d'approfondir les puits existants ou de creuser des nouveaux puits.

#### **\* Actions au niveau de la parcelle**

Les actions entreprises au niveau de la parcelle concernent :

- \* L'encouragement et l'incitation financière des agriculteurs à l'équipement des parcelles par des systèmes d'économie d'eau qui ont appuyé cette stratégie par la décision présidentielle régissant une augmentation des taux des subventions octroyées.

- \* L'amélioration du taux d'intensification des cultures irriguées afin de faciliter l'introduction des techniques économisant l'eau.

- \* La construction de bassins de stockage à l'aval des puits ou des bornes d'irrigation afin d'améliorer la qualité de l'eau d'irrigation par purification des débris solides et augmenter la flexibilité du débit et du temps d'irrigation.

- \* Le dimensionnement adéquat et le revêtement des « séguias » en terre : béton, matériaux plastiques, conduites en PVC, etc.

- \* L'installation de conduites fixes enterrées ou de conduites mobiles métalliques ou plastiques.

- \* L'incitation à l'utilisation des eaux non conventionnelles et la limitation de la surexploitation des nappes phréatiques.

### **3 La production agricole :**

Le climat des stations étudiées est caractérisé par sa variabilité et par la répartition des pluies qui sont faibles, irrégulières et très variables dans le temps et l'espace et dont les variations mensuelles sont très importantes notamment pendant les saisons d'automne et de printemps. En période estivale, la pluviométrie est presque nulle. On retrouve les



conséquences de cette répartition sur les besoins en eau d'irrigation. L'influence de la pluviométrie sur ces besoins est très faible pour les cultures d'été. En année sèche, les besoins croissent de plus de 40 % par rapport à une année humide.

Par contre, pour les cultures d'hiver, les choses sont plus complexes et en rapport avec la période de culture. Pour la fève qui est une culture d'automne, la différence est faible par contre pour les cultures de printemps l'écart peut atteindre presque 100% (blé d'hiver). L'année sèche retenue pour les spéculations a eu un printemps très sec nécessitant des apports d'irrigation. Ces volumes restent tout de même partiellement faibles.

Pour les cultures en sec, l'impact de la pluviométrie sur la productivité établit à partir des bilans basés sur des valeurs moyennes de la pluviométries, d'apport brut et net, et de la consommation productive... pendant des années sèche, moyenne et humide, apparaît comme ci-après (tableaux : 2.4, 2.5 ,2.6, 2.7, 2.8 et 2.9):

**Tableau 2.4 : Bilan pour les céréales en sec**

Année	Sèche	Moyenne	Humide
Pluie (mm)	180	301	365
Apport brut (mm)	180	301	365
Apport net	185	308	343
Consommation productive	44	96	104
Taux consommation brut	0,24	0,32	0,29
Taux consommation net	0,24	0,31	0,30
Production en kg/ha	300	800	1200
Productivité nette kg/m3	0,16	0,26	0,35

Généralement pour les oliviers de toute la région, le besoin pour un rendement maximum est supérieur à la pluviométrie de l'année humide.

**Tableau 2.5 : Rendements des oliviers en fonction de la pluviométrie**

<b>Année</b>	<b>Sèche</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Humide</b>
Pluie (mm)	180	301	365
Apport net (mm)	185	308	343
Rendement en kg/ha	440	740	900
Productivité nette kg/m <sup>3</sup>	0,23	0,24	0,26

**Tableau 2.6 : Bilan pour les melons, tomate et piment en fonction de la pluviométrie**

	<b>Melon de saison</b>			<b>Tomate</b>			<b>Piment d'été</b>		
<b>Année</b>	<b>Sèche</b>	<b>Moy.</b>	<b>Humide</b>	<b>Sèche</b>	<b>Moy.</b>	<b>Humide</b>	<b>Sèche</b>	<b>Moy.</b>	<b>Humide</b>
Pluie (mm)	180	301	365	180	301	365	180	301	365
Apports d'irrigation en mm	540	520	480	600	600	540	450	450	450
Eau consommée	162	276	306	162	276	306	162	279	306
Eau prélevée: mm	831	800	738	923	923	831	692	692	692
Eau produite : mm	291	287	258	323	330	291	242	247	242
Irrigation déclarée : mm	500	500	500	440	400	280	/	/	/

**Tableau 2.7: Bilan pour les fèves, pommes de terre et blé d'hiver en fonction de la pluviométrie**

	Fève			Pomme de terre			Blé d'hiver		
Année	Sèche	Moy.	Humide	Sèche	Moy.	Humide	Sèche	Moy.	Humide
Pluie en mm	180	301	365	180	301	365	180	301	365
Besoins d'irrigation en mm	160	60	40	350	270	230	330	200	190
Eau consommée	162	289	306	162	278	306	162	289	306
Eau prélevée : mm	246	92	62	538	415	354	508	308	292
Eau produite : mm	86	32	22	188	155	124	178	129	102
Irrigation déclarée : mm	280	140	100	170	150	30	/	/	/

**Tableau 2.8 : Bilan pour les melons précoces, piment, maraîchage d'été, blé et piment d'été en fonction de la pluviométrie**

	Melon précoce et Piment			Maraîchage d'été			Blé et piment d'été		
Année	Sèche	Moy.	Humide	Sèche	Moy.	Humide	Sèche	Moy.	Humide
Pluie en mm	180	301	365	180	301	365	180	301	365
Besoins d'irrig. en mm	770	700	640	600	600	540	750	660	620
Eau consommée	162	289	306	162	289	306	162	278	306
Eau prélevée: mm	1185	1077	985	923	923	831	1154	1015	954
Eau produite : mm	415	377	345	323	323	291	404	355	334
Irrigation déclarée : mm	600	600	350	720	600	600	500	500	400

**Tableau 2.9 : Bilan pour les oliviers irrigués, arboriculture, olivier et pastèque  
fonction de la pluviométrie**

	Olivier irrigué			Arboriculture			Olivier et pastèque		
Année	Sèche	Moy.	Humide	Sèche	Moy.	Humide	Sèche	Moy.	Humide
Pluie en mm	180	301	365	180	301	365	180	301	365
Besoins d'irrig. en mm	450	400	300	1000	920	850	800	670	640
Eau consommée	162	289	306	162	289	306	162	278	306
Eau prélevée: mm	692	615	462	1538	1415	1308	1231	1031	985
Eau produite : mm	242	215	162	538	496	458	431	366	345
Irrigat. déclarée: mm	200	150	135	720	600	600	500	500	400

Les efforts faits par le secteur agricole dans toute la région du Sahel ont permis au pays d'atteindre son autosuffisance dans quelques produits (huiles, olives, amandes...). Les caractéristiques générales de la répartition de la production agricole dans la région sont réparties généralement selon les gouvernorats de la manière suivante :

\*Gouvernorat de Sousse : Région oléicole (une oliveraie de 4 millions olives).

\*Gouvernorat de Monastir : spécialisé dans la production des primeurs et des cultures sous serre, il ne cesse d'enregistrer des progrès évidents en matière de production végétale (huile d'olive avec une oliveraie qui s'étend sur 60 000ha ; les cultures irriguées).

\*Gouvernorat de Mahdia : connu pour sa vocation agricole : l'amandier avec 23000 ha plantés, les cultures irriguées, mais reste une région fondamentalement oléicole avec 4,8 millions d'oliviers plantés sur une superficie de 143000 ha.

Pour les produits agricoles, l'autosuffisance en produits maraîchère s'est consolidée malgré l'augmentation rapide de la demande résultant de l'augmentation de la population d'un taux annuel moyen d'accroissement démographique (2.33% contre 1.21 % au niveau national)<sup>44</sup> et de la demande par personne suite à l'amélioration des revenus.

<sup>44</sup> INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE (2005). «Rapport annuel 2005», Op. cit. p.7.

Rappelons qu'au mois de décembre 1999, la campagne olivaire et céréalière a souffert d'un manque en pluie qui s'est prolongé jusqu'au printemps 2000 et a affecté le développement normal des plantes pendant la période de germination et, par conséquent, le niveau des rendements, la production des oliviers et des céréales ayant accusé une baisse d'environ 40%. Cette insuffisance de production et l'augmentation des besoins de consommation ont entraîné pour l'état la progression des importations de céréales au titre de l'an 2000 de l'ordre de 20%. Elles ont porté sur environ 24 millions de quintaux pour une valeur de 400 M \$ contre 20 millions de quintaux et 300 M \$ l'année précédente

### **3-1 Les cultures en pluviale :**

#### **3-1-1 Arboriculture :**

Le secteur arboricole a favorablement évolué, au cours des dernières années particulièrement dans la zone sud-ouest, pour la plupart des spéculations, en particulier les olives à huile 110 000 tonnes/an et de 69 393 tonnes/an pour le reste des arboricultures en 2005 (figure 2.5).

##### **3-1-1-1 Les olives :**

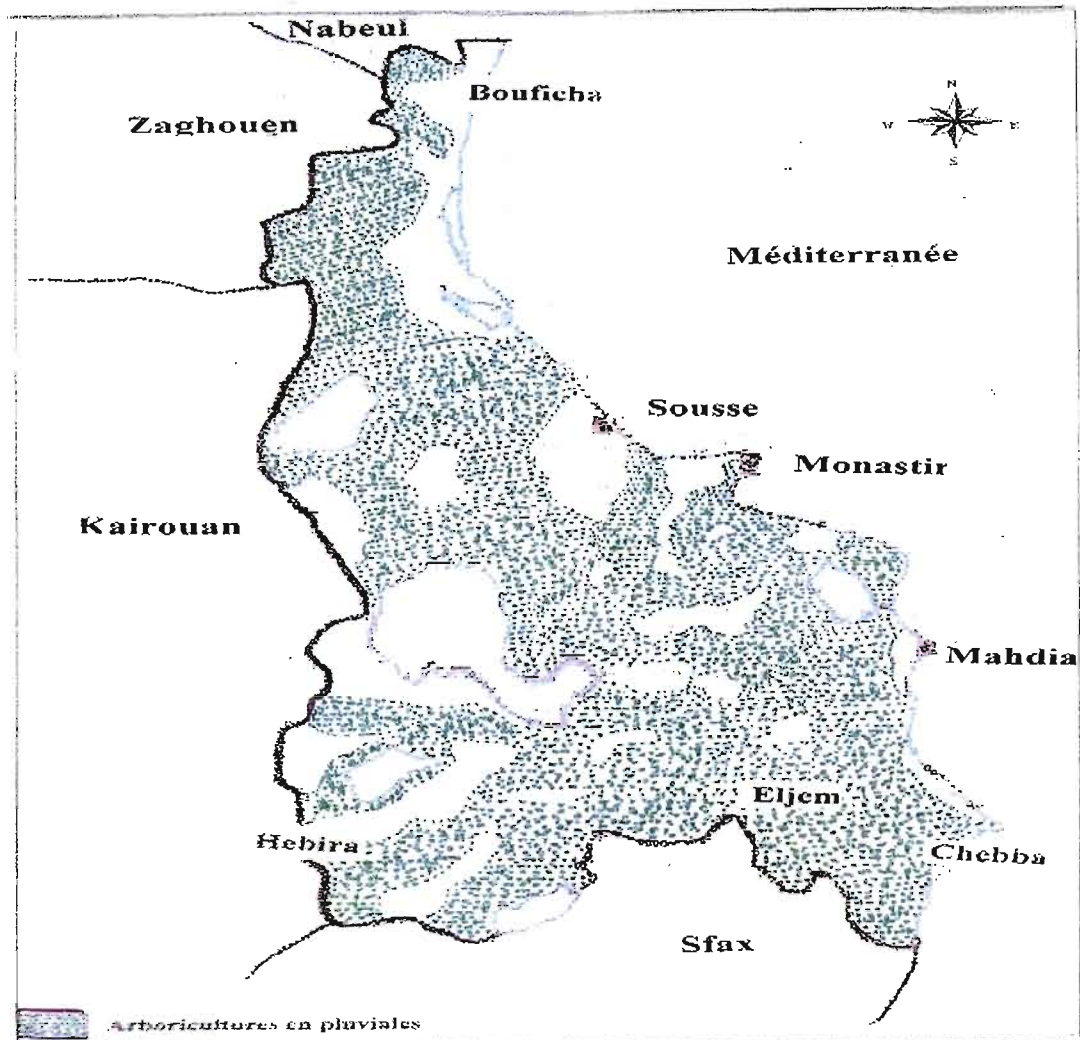
La récolte d'olives à huile s'est accrue de 22% au cours de la campagne 1999-2000 par rapport à son niveau de la campagne précédente, suite aux conditions climatiques favorables ayant prévalu pendant la première moitié de 1999 ensuite elle s'est réduite à 47 000 tonnes, car au cours de cette période la région a souffert d'une sécheresse.

**Tableau 2.10: Production d'huile d'olive au Sahel tunisien pour la période 1993 et 2001. (En milliers de tonnes)**<sup>45</sup>

	1993/1994	1994/1995	1995/1996	1996/1997	1997/1998	1998/1999	1999/2000	2000/2001
<b>Production</b>	99	43	31	26	136	83	104	47

<sup>45</sup> Source : Office national de l'huile : Prévisions. Ministère de l'Agriculture 2002.

**Figure 2.5 : Carte des arboricultures en pluviales au Sahel**



Échelle : 1 : 10 000

Les quantités collectées par l'Office National de l'Huile (ONH) en 94/95 atteignaient 40 mille tonnes <sup>46</sup>. La production d'huile d'olive dans la région a connu un développement important pendant la décennie 1980/1990 en passant de 48 mille tonnes à 87 mille tonnes pour la décennie 1990/2000. Le tiers de cette production a été consommé localement et le reliquat a été exporté, essentiellement vers les pays de l'Union européenne. Cette augmentation s'explique par l'amélioration et le perfectionnement des systèmes d'irrigation accompagnés d'années pluvieuses qui ont succédé les années de sécheresse qui ont touché le pays et par l'augmentation des prix.

Néanmoins, les difficultés que rencontre la culture des olives à huile en raison de la sécheresse et du manque de pluie, peuvent être atténuées par une maîtrise des coûts de production et l'amélioration de la qualité à travers, notamment, l'utilisation des techniques de production biologique sans coûts supplémentaires exorbitants, ainsi que par la diversification des débouchés extérieurs et une politique de commercialisation plus agressive.

Pour la campagne 2000-2001, les prévisions initiales de production d'huile d'olive étaient de 69 mille tonnes. Mais vu le manque de pluies et la sécheresse dans cette région, la production définitive n'a atteint que 47 mille tonnes, soit moins de la moitié du niveau réalisé la campagne précédente.

**Tableau 2.11 : Valeurs des rendements oliviers retenus pour les calculs de productivité**

	<b>Campagne</b>	<b>Pluviométrie annuelle en mm</b>	<b>Rendement en kg/ha</b>
Année sèche	1977/78	180	440
Année moyenne	1982/83	301	740
Année humide	1984/85	365	900

<sup>46</sup> Le complément de prix, restauré à partir de la campagne 1994-95, est déterminé à la fin de la campagne de commercialisation.

### **3-1-1-2 Les amandiers :**

La production d'amandes en coques sèches, elle s'est légèrement accrue, pour passer de 19 000 tonnes en 1999 à 22 000 tonnes en 2000, permettant l'approvisionnement normal du marché local, que la zone sud-ouest du Sahel domine avec ses 23 000 amandiers.

La production des fruits de printemps et d'été, a connu une progression soutenue durant la décennie 1990. Cette évolution a été favorisée par la mise en œuvre des programmes de promotion de ce secteur, notamment les projets spécifiques de plantation et de rajeunissement des arbres fruitiers (pommiers, figuiers, pêchers...), la formation de la main-d'œuvre qualifiée, l'application des résultats de la recherche scientifique en matière de sélection des nouvelles espèces et l'amélioration des techniques culturales.

### **3-1-2 Les céréales**

Les producteurs n'utilisent pas des types à haut rendement de blés et d'orge, mais surtout des variétés locales, en fonction de leurs besoins domestiques et locales, par ordre de préférence. Ces variétés sont en effet moins exigeantes et assurent un maximum de sécurité pour l'alimentation de la population locale.

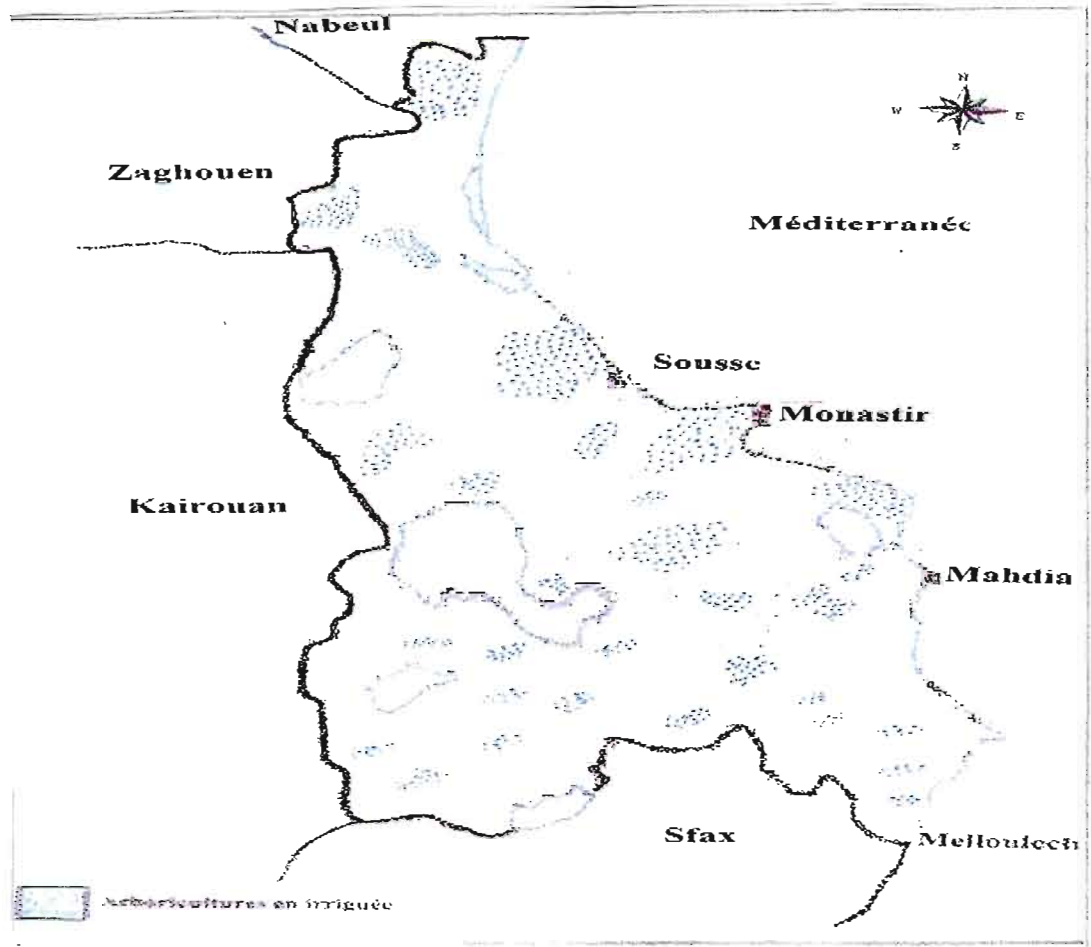
Les rendements dans la région sont de l'ordre de 7 Quintaux/ha pour l'orge pendant les bonnes années et de 15 Quintaux/ha pour le blé particulièrement dans la zone côtière d'Enfidha et Boufisha... mais c'est un produit qui reste toujours à la merci des pluies et autres facteurs climatiques déterminants qui ont été défavorables notamment lors des années 1988, 1994, 1997 et 1999.

### **3-2 Les cultures en irrigué**

L'accroissement de la production de la plupart des cultures en irrigué dans les deux zones Sahéliennes (figure 2.6 et 2.7), au cours de la campagne 1999-2000, a permis

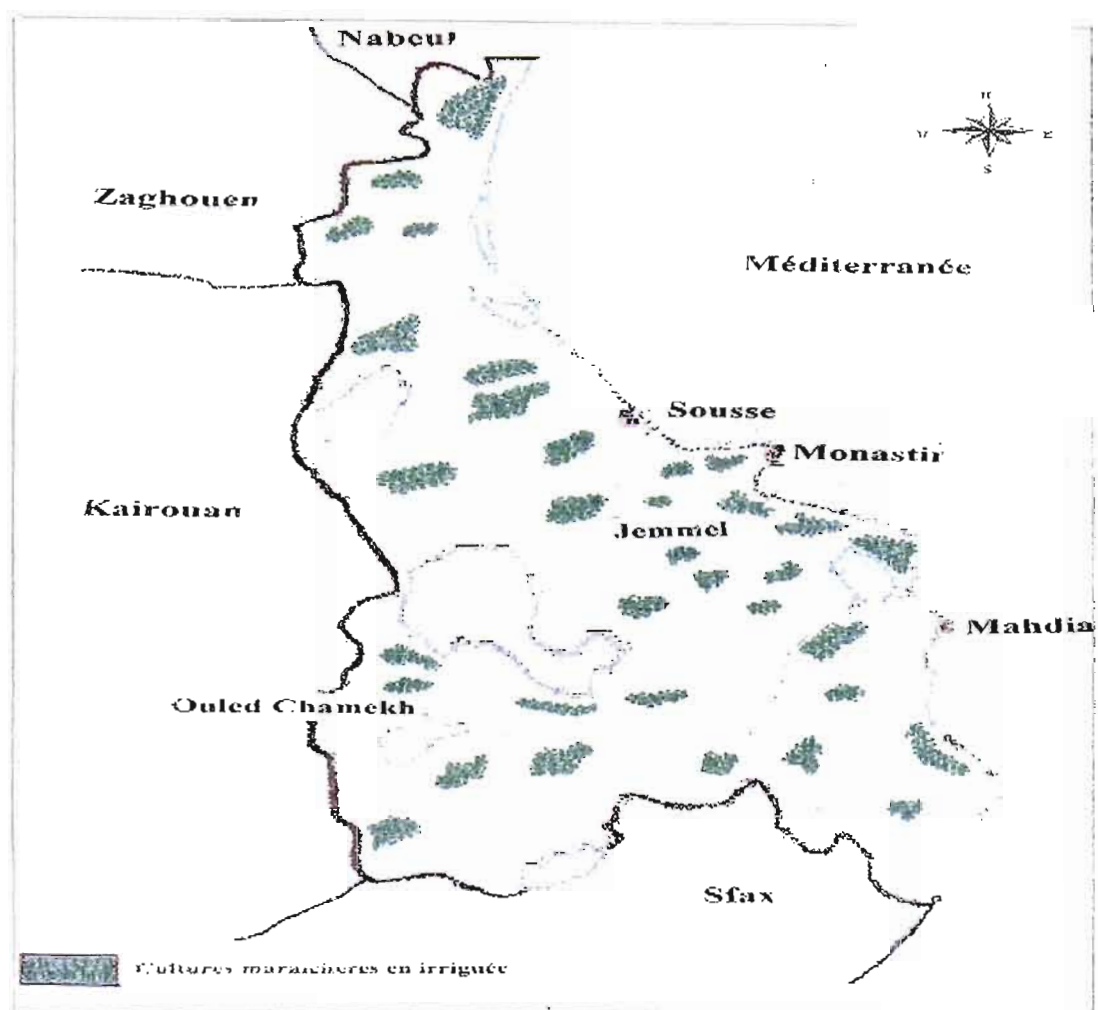


**Figure 2.6 : Carte des arboricultures en irriguée au Sahel**



Échelle : 1 : 10 000

**Figure 2.7 : Carte des cultures maraîchères en irriguée au Sahel**



Échelle : 1 : 10 000

d'approvisionner le marché local dans de bonnes conditions et même de dégager des surplus exportables pour certains produits avec, toutefois, quelques difficultés d'écoulement au niveau de l'industrie de transformation, alors qu'en 1997 elle a connu un recul de -0.71% par rapport à 1996, ce qui s'explique par un manque de pluie.

La production des piments a vu son niveau réduit de -0,97% à durant la campagne 1999, par rapport aux 1,32% de la campagne précédente. Les melons et les pastèques ont atteint 1,16% en 1999 contre -0,95 pour la saison 1998, cette évolution s'explique, notamment par l'application de plus en plus de nouvelles techniques culturales, en particulier l'irrigation goutte à goutte.

**Tableau 2.12: Indices d'évolution des productions maraichères pour la période 1994-1999** <sup>47</sup>

Année	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<b>Tomate</b>	1,14	1,20	1,20	-0,71	1,32	1,40
<b>Piment</b>	-0,91	-0,90	1,26	-0,97	1,01	-0,97
<b>P. de terre</b>	1,05	1,06	1,15	1,07	1,20	1,08
<b>Oignon</b>	1,13	-0,96	-0,93	1,03	1,09	-0,89
<b>Melons et pastèques</b>	1,13	-0,8	1,23	-0,85	-0,95	1,16

**Tableau 2.13: Rendements retenus pour les calculs de productivité**

Melon	25000 kg/ha
Piment	8300 kg/ha
Tomate	60000 kg/ha
Fève	12000 kg/ha
Pomme de terre	17500 kg/ha
Olivier irrigué	2500 kg/ha
Arboriculture	6000 kg/ha

<sup>47</sup> Source : Groupement interprofessionnel des légumes et Ministère de l'Agriculture, 2005.

On doit noter que la fève qui a un cycle court et se place à l'automne a un besoin d'irrigation faible ce qui va donner une productivité imparfaite de l'eau d'irrigation maximale quelle que soit l'année. Pour la pomme de terre et le blé, la valeur maximale ne sera atteinte que pendant les années humides. Le blé qui a un cycle long ne peut être cultivé uniquement en sec pour obtenir des rendements corrects. La productivité ne dépasse pas 1,80 kg/m<sup>3</sup> d'eau d'irrigation. Pour les cultures d'été, les productivités sont importantes à cause de la masse végétale produite, qui varie de 5 à 10 kg/m<sup>3</sup>.

**Tableau 2.14 : L'agriculture du Sahel en chiffres 2005**<sup>48</sup>

Gouvernorats	G. Sousse	G. Monastir	G. Mahdia	Tout le Sahel
Superficie agricole utile	220 000 ha	88 150 ha	226 411 ha	534561 ha
Superficie labourable	170 000 ha (75 000 ha d'oliviers)	60 000 ha (d'oliviers)	143 000 ha (4.8 millions oliviers plantés sur cette superficie de 143000 ha)	/
Zones irriguées	11 800 ha	5 715 ha	6 592 ha	24 107 ha
Principaux produits agricoles				
Huile	60 000 T/an	27000 T/an	23 000 T/an	110 000 T/an
Oléiculture	/	4 350 T/an	32 000 T/an	/
Arboriculture	13 720 T/an	7 090 T/an	48 583 T/an (23000 amandiers)	69 393 T/an
Cultures maraîchères	54 150 T/an	138 370 T/an	76 357 T/an	268 877 T/an
Céréaliculture	230 000 T/an	/	20 762 T/an	/ *

<sup>48</sup> INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE, (2005), Ibid.

Les pouvoirs publics tendent à accorder une attention particulière au secteur de l'agriculture, vu son rôle dans le développement économique et social et dans le but de subvenir aux besoins de la région en cette culture en premier lieu, car ce secteur contribue à concurrence de 13% au PIB en prix constants et de 10% aux exportations nationales de biens. Il procure des revenus permanents pour des milliers d'agriculteurs dans la région, en plus des millions de journées de travail saisonnier qu'il génère selon les campagnes agricoles notamment celle de la cueillette des oliviers.

La promotion des investissements et l'amélioration continue des méthodes d'exploitation et de gestion, notamment l'encouragement de la recherche scientifique, l'utilisation de nouvelles espèces de semences et l'octroi d'aide directe aux petits exploitants agricoles, constituent autant de moyens pour parer aux mauvaises conditions climatiques qui affectent le niveau des rendements, surtout pour les cultures en sec et pluviales.

### CHAPITRE III

#### ÉVALUATION DES RESSOURCES DU CLIMAT AGRICOLE ET LES CONTRAINTES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

L'agriculture au Sahel tunisien comporte des paysages très diversifiés, mais qui ont pour spécificités communes d'être, à des degrés divers, marqués de grandes alternances en fonction de la variation climatique, et limitées par les ressources hydriques. Ces faits ont incité plusieurs chercheurs et organismes à faire des études à ce propos : Le contrôle de l'érosion et de la désertification dans les bassins versants pilotes en Algérie, au Maroc et en Tunisie, «Cas de Oued Lbna», (par ATTIA, R. et AGREBAOUI, S. <sup>49</sup>), Estimation du ruissellement moyen annuel sur les bassins du sud-est, du sud-ouest et du Sahel par FERSI M. <sup>50</sup>, et L'aridité en Tunisie présaharienne, climat, sol, végétation et aménagement par PONTIER, R., FLORET C., EMBERGER, L. <sup>51</sup> etc. La quasi-totalité de ces travaux étaient focalisés sur des diagnostics et des vérifications de terrains ou visait à privilégier certains facteurs et négliger d'autres lors des analyses ...

Les changements climatiques anticipés font ainsi peser des risques graves sur les systèmes agricoles. Le modèle MAGICC (HULME et al, 2000), centré généralement sur la région du Maghreb, prévoit en effet une perturbation des régimes pluviométriques avec une tendance à la baisse, de l'ordre de 5 à 10 % et un réchauffement de l'ordre de 1°C entre 2000 et 2020. À plus long terme, la température augmenterait de 3°C d'ici 2050 et dépasserait les 5°C en 2100, alors que les précipitations diminueraient de 10 à 30 % d'ici 2050 et de 20 à

---

<sup>49</sup> ATTIA, R. et AGREBAOUI, S. (2001). Contrôle de l'érosion et de la désertification dans les bassins versants pilotes en Algérie, au Maroc et en Tunisie, Cas de l'oued Lbna, Centre d'Activités Régionales (PAP), p 24.

<sup>50</sup> FERSI M. (1979). Estimation du ruissellement moyen annuel sur les bassins du Sud-est, du Sud-ouest et du Sahel. Tunis : Direction générale des ressources en eau, p 10.

<sup>51</sup> PONTIER, R., FLORET C., EMBERGER, L. (1982). L'aridité en Tunisie présaharienne, climat, sol, végétation et aménagement. Paris : Orstom éditions, p 541.

50% en 2100.<sup>52</sup>

Ces changements incluent une augmentation de la fréquence des extrêmes climatiques. Les menaces principales concernent une possible accentuation et de plus grande fréquence des sécheresses, ainsi qu'une concentration des épisodes pluvieux sur un nombre limité de jours. Ainsi, les conditions climatiques néfastes de ces dernières décennies pourraient devenir la norme dans cette région, faisant ainsi peser des risques considérables sur l'agriculture. Ces changements climatiques impliquent d'envisager la forme et l'ampleur des impacts potentiels sur l'agriculture pour les prochaines décennies.

Suivant les rapports d'évaluation les valeurs disponibles fondées sur les actuelles variations mensuelles et annuelles très importantes: température à une tendance de variation et d'augmentation, perturbations des régimes et des volumes de précipitations, leurs caractères torrentiels observés, évapotranspiration supérieure à la pluviométrie et augmentation de la fréquence et de l'intensité de certains autres phénomènes extrêmes...expliqués par l'effet des aspects des changements climatiques font ainsi estimer des risques importants sur les systèmes agricoles et les modes d'exploitation dans les deux zones aride et semi-aride du Sahel tunisien.

Pour traduire l'importance de la relation climat et exploitation agricole dans des conditions climatiques pareilles il a fallu d'abord définir les degrés d'aridité dans les deux zones du Sahel à partir de différents indices hydrothermaux, ensuite expliquer les rapports entre températures, périodes d'accroissement des plantes et facteurs d'activité biologique avec l'exploitation et la production agricole dans cette région.

## **1 Évaluation des ressources du climat agricole du Sahel tunisien.**

### **1-1 L'indice hydrothermal :**

L'étude de l'aridité peut s'exprimer par différents indices, la plupart s'appuyant

---

<sup>52</sup> NATHALIE, R., (2007), [http://webu2.upmf-grenoble.fr/iepe/textes/NR-NT24\\_Rabat2007.pdf](http://webu2.upmf-grenoble.fr/iepe/textes/NR-NT24_Rabat2007.pdf) , Page consultée le 29/03/2007.

sur de simples rapports hydrothermiques basés essentiellement sur des valeurs moyennes de précipitations et de température annuelle, utilisés pour définir les degrés d'aridité et les conditions de l'écoulement. Ils ont été proposés par des climatologues, des hydrologues et des géographes. Les plus utilisés actuellement en Tunisie sont ceux de : DE MARTONNE E., EMBERGER E., THORNTHWAITE C.W., DUBIEF J., GAUSSEN H. et récemment celui de l'UNESCO/FAO - dont la définition synthétise ces indices- qui est formulé pour ces régions ayant ce type de climat et qui est aussi applicable sur notre cas d'étude :

p

- Zones arides :  $0.03 < \frac{p}{ETP} < 0.20 = 290/350$  Jours secs.

ETP

p

- Zones semi-arides :  $0.20 < \frac{p}{ETP} < 0.50 = 100/290$  Jours secs.

ETP

**P** : Pluie annuelle (mm) et **ETP** : Évapotranspiration potentielle moyenne annuelle (mm).

Suivant l'ampleur du déficit hydrique, divers degrés d'aridité peuvent être différenciés, permettant de définir des classes d'indices d'aridité convenues et acquérir des qualifications particulières applicables à notre région d'étude. Il est devenu courant de différencier ces deux niveaux d'aridité. La zone aride au sud-ouest qui reçoit de faibles pluies, en moyenne annuelle, de 50 à 200 mm groupés sur une saison, très irrégulière et dont l'écoulement dans les talwegs est irrégulier, en crues isolées consécutives à des pluies de courte durée et de forte intensité; elle est affaiblie par les taux énormes de l'évaporation et de l'infiltration. Dans la zone semi-aride, les pluies de 200 à 400 mm sont réparties sur quelques mois de l'année. Elles sont assez abondantes pour assurer à l'écoulement et à la végétation des eaux un rythme saisonnier; mis à part le cas exceptionnel des cours d'eau allogènes, l'écoulement se fait par crues isolées parfois brusques et torrentielles.

Pour mieux diagnostiquer la situation de cette région, on a fait recours à ces indices (hydrothermaux) et en particulier celui de G.T. SILIANINOV<sup>53</sup> qu'on a considéré le plus

---

<sup>53</sup> MAHER, M. (1995). Le climat agricole et son importance dans la diversification agricole en Tunisie. Mémoire de Licence, Université Ouverte, Tripoli, Lybie, p 33-34.



adapté avec les données et les caractéristiques bioclimatiques de la région, car il permet de formuler les rapports température/pluie à partir des valeurs thermiques et pluviométriques mensuelles ou annuelles et détermine aussi les sommes des températures actives pour l'exploitation agricole et la végétation des plantes.

Selon SILIANINOV, G.T. le climat des zones similaires est un système de moyenne semi-aride, et avec un indice hydrothermal variable de 0,7 à 1, la moyenne des précipitations annuelle pour la protection des zones humides est de 431 millimètres ; avec K comme Indice thermique, R comme somme des pluies en mm pendant les périodes actives,  $\sum T$  comme somme des températures moyennes actives et mensuelles et N comme nombre de jours  $> 10^{\circ}\text{C}$ / mois.

$$K = \frac{R \cdot 10}{\sum T}$$

Cet indice atteint son plus haut niveau dans les zones côtières de la région à l'Est et son plus bas dans les zones internes au sud-ouest pour les raisons mentionnées précédemment. On doit noter aussi qu'il est dépendant des températures, pluies, évapotranspiration et l'humidité.

Pour analyser ces rapports dans la région d'étude, nous avons appliqué à cet indice, dont les exigences thermiques et les conditions optima de croissance doivent être supérieures à  $10^{\circ}\text{C}$ , dont les sommes des températures sont actifs pendant les périodes et les phases de développement (germination, bourgeonnement, floraison des plantes), elles sont le taux annuel de  $N > 10^{\circ}\text{C} \times T/\text{mois}$ <sup>54</sup>.

D'après les indices évalués, nous pouvons noter que pendant la période étalée entre 1995 et 2005, les tableaux évaluent à 0.49 l'indice hydrothermal dans la zone côtière et à 0.33 celui du reste de la région, alors qu'ils étaient pendant la période de 1970/1980 évalués à 0.67 et à 0.47, ce qui reste toujours inférieur au seuil minimal (0.7) de l'indice de SILIANINOV. Cela s'explique par l'accentuation des aspects et des effets des changements climatiques et du réchauffement qui dominent toute la région (la faiblesse et la

---

<sup>54</sup> Ibid, p. 34.

régression relative des pluies ainsi que leur irrégularité, une évaporation potentielle intense associée, en été, et à des températures élevées en toutes saisons à des vents secs), en signifiant qu'une grave aridité domine la région et menace ses cultures et son développement économique à court terme et que le passage de la zone semi-aride à l'aride et la zone aride à l'hyper aride est devenu imminent ce qui est déjà le cas de certaines stations visitées dans la zone sud-ouest à Hebira et Ouled Chamekh.

**Tableau 3.1: Indices hydrothermaux dans la zone Est du Sahel pour la période 1970/1980.**

Mois	Température (°C)	N. jours >10°C	Résultats	Pluviométrie (mm)
Janvier	11	31	341	39
Février	10	28	280	51
Mars	12	31	372	37
Avril	17	30	510	21
Mai	16	31	496	34
Juin	22	30	660	12
Juillet	23	31	713	1
Août	28	31	868	1
Septembre	22	30	660	59
Octobre	20	31	620	48
Novembre	13	30	390	78
Décembre	10	31	310	55
TOTAL			6420	436
<b>K= 0.67</b>				

**Tableau 3.2: Indices hydrothermaux dans la zone Est du Sahel pour la période**  
**1995/2005**

Mois	Température (°C)	N. jours >10°C	Résultats	Pluviométrie (mm)
Janvier	12	31	372	4
Février	12	28	336	62
Mars	13	31	403	14
Avril	17	30	510	8
Mai	19	31	589	12
Juin	22	30	660	1
Juillet	25	31	775	1
Août	29	31	899	2
Septembre	24	30	720	67
Octobre	20	31	620	141
Novembre	15	30	450	19
Décembre	12	31	372	4
TOTAL			6702	335
K= 0.49				

**Tableau 3.3 : Indices hydrothermaux dans la zone sud-ouest du Sahel pour la**  
**période 1970/1980.**

Mois	Température (°C)	N. jours >10°C	Résultats	Pluviométrie (mm)
Janvier	10	31	310	59
Février	11	28	308	13
Mars	15	31	465	67
Avril	21	30	630	53
Mai	18	31	558	22
Juin	21	30	630	19
Juillet	24	31	744	1
Août	27	31	837	1
Septembre	27	30	810	49
Octobre	26	31	806	33
Novembre	24	30	720	15
Décembre	23	31	713	28
TOTAL			7531	360
K=0.47				

**Tableau 3.4 : Indices hydrothermaux dans la zone sud-ouest du Sahel pour la période****1995/2005**

Mois	Température (°C)	N. jours>10°C	Résultats	Pluviométrie(m m)
Janvier	10	31	310	26
Février	13	28	364	28
Mars	17	31	527	24
Avril	20	30	600	20
Mai	21	31	651	12
Juin	23	30	690	8
Juillet	26	31	806	2
Août	30	31	930	10
Septembre	28	30	840	38
Octobre	27	31	837	36
Novembre	26	30	780	37
Décembre	25	31	775	32
TOTAL			8110	273
K= 0.33				

## 1.2 La répartition des sommes des températures actives dans la région du Sahel.

D'abord, on doit mentionner que l'abaissement des températures au-dessous de zéro paralyse le développement de certaines cultures dans la région et menace son évolution. Pour cette raison SILIANINOV G.T.<sup>55</sup> avait fixé un indice basé sur une température minimale de 10°C (le zéro végétatif) pour une évolution normale des plantes dans les milieux arides et semi-arides, (telles que les figuiers, les oliviers, les pommiers et les abricotiers...) en mentionnant celles au dessus de cette valeur par les températures actives en tenant compte de nombres des jours et des mois dont les températures sont au-dessus des 10°C mentionnés

<sup>55</sup> Selon le Géophysicien russe SILIANINOV G. T. les climats aride et semi-aride sont évalués avec des indices hydrothermaux qui varient de 0,7 à 1 et la moyenne pluviométrique annuelle des zones semi-arides est inférieure à 431 mm.

pour la période active. Rappelons aussi que l'indice hydrothermal selon *SILIANINOV* conçu pour des zones du même type varie en moyenne entre 0,7 pour les zones arides et 1 pour les semi-arides.

Pour le cas du Sahel, nous avons appliqué cet indice en multipliant le nombre de jours (de la période active) par les moyennes de température quotidiennes de chaque mois pour faire le total des sommes annuel des températures actives, mais cela reste variable selon les zones semi-aride ou aride de la région et la nature des plantes et des cultures exploitées (ombrophiles ou xérophiles, en sec ou irriguées) <sup>56</sup>.

**Tableau 3.5 : Températures actives dans la zone semi-aride à l'Est pour la période 1995/2005**

Mois	Température (°C)	N. jours >10°C	Résultats (°C)
Janvier	12	31	372
Février	12	28	336
Mars	13	31	403
Avril	17	30	510
Mai	19	31	589
Juin	22	30	660
Juillet	25	31	775
Août	29	31	899
Septembre	24	30	720
Octobre	20	31	620
Novembre	15	30	450
Décembre	12	31	372
<b>TOTAL</b>			<b>6702</b>

---

<sup>56</sup> MAHER, M. (1995)., Op. cit. p 48.

**Tableau 3.6 : Températures actives dans la zone aride au sud-ouest pour la période  
1995/2005**

Mois	Température (°C)	N. jours >10°C	Résultats (°C)
Janvier	10	31	310
Février	13	28	364
Mars	17	31	527
Avril	20	30	600
Mai	21	31	651
Juin	23	30	690
Juillet	26	31	806
Août	30	31	930
Septembre	28	30	840
Octobre	27	31	837
Novembre	26	30	780
Décembre	25	31	775
<b>TOTAL</b>			<b>8110</b>

**Tableau 3.7 : Somme des températures actives favorables pour quelques récoltes dans la  
région du Sahel °C**

Récoltes	Somme des températures actives ( $\sum T.$ ) en °C
Abricotiers	4000/7000
Agrumes	5000/7000
Amandiers	5000/7000
Blé	4000/5000
Figuier	5000/7000
Olivier	6000/7000
Orge	3000/8000
Pommier	4000/7000
Tomate	2000/3000
Vigne	5000/7000

### 1-3 Les périodes d'accroissement des produits agricoles

Ces périodes concernent la quasi-totalité des produits agricoles (arboriculture, céréales, cultures maraîchères) des zones arides et semi-arides du Sahel sont résumées dans le tableau suivant (3.8) :

**Tableau 3.8 : Tableau récapitulatif des caractéristiques bioclimatiques et hydrothermales de la région**

<b>Zones</b>	<b>Étage bioclimatique</b>	<b>Sommes des températures actives (°C)</b>	<b>Indice hydrothermal</b>	<b>Périodes de végétation</b>
<b>Zone Est</b> ( <i>Sousse, Kalaa kbira, Msaken, Kala sghira, Hammem sousse, Akouda, Hergla, Enfidha, Kondar, Bouficha, Monastir, Bekalta, Bembla, Béni Hassen, Jemmal, Ksar Hellal, Ksibet el-Médiouni, Ouerdanine, Moknine, Sahline, Zéramdine, BouMerdès, Sayada-lamta, Téboulba, Ksour Essef, Mahdia, Chebba, Melloulèche, Sidi Alouane.</i> )	<b>Semi-aride</b> <b>(200-400mm/an)</b>	<b>6702</b>	<b>0.49</b>	<b>12 mois</b>
<b>Zone Sud-ouest</b> ( <i>Chorbène, ElJem, Souassi, Hebira, Ouled Chamekh</i> )	<b>Aride</b> <b>(50-200mm/an)</b>	<b>8110</b>	<b>0.33</b>	<b>12 mois</b>

La lecture et l'analyse des tableaux de périodes d'accroissement des produits agricoles (3.8 et 3.9), montrent que les conditions thermiques, dans la quasi-totalité de la région, sont favorables à une végétation durant presque toute l'année, mais à l'appui des systèmes d'irrigation intensifs par les eaux des puits, des barrages et des lacs collinaires, et par le recours au captage des eaux de ruissellement, des aménagements tels que le «*meskat*», afin d'assurer la croissance des cultures maraîchères et de l'oléiculture, surtout dans les zones touchées sérieusement par la sécheresse et l'aridité (Hebira, Ouled Echamekh, Chorben, Souassi...), en vue de combler la carence pluviométrique et hydrologique visible.

**Tableau 3.9 : Durée des cultures en irriguée (en plein air) <sup>57</sup>**

<u>Légumes</u>	<u>plantation</u>	<u>Durée de développement</u>
Aubergine	Entre semis et récolte	4 à 5 mois
Carotte hâtive	-	70 à 80 jours
Carotte longue, tardive	-	6 mois
Chou d'été et d'automne	-	4 mois
Chou d'hiver	-	7 mois
Concombre	-	3 mois
Courge	-	6 mois
Épinard	-	40 à 45 jours
Fève	-	3 à 4 mois
Laitue d'été	-	2 mois
Laitue romaine	Entre plantation et récolte	7 à 9 semaines
Navet d'hiver	-	3 mois
Oignon de couleur	-	5 à 6 mois
Oignon blanc	-	8 à 9 mois
Pomme de terre	-	4 1/2 à 5 mois
Tomate hâtive	-	4 mois ½

<sup>57</sup> SABOURIN, L. et FROMAGE, M., (1975). «Dans votre jardin des légumes toute l'année», édit. Flammarion, (FR).p 43.



**Tableau 3.10 : Récapitulatif des caractéristiques hydrothermales des produits agricoles au Sahel**

Valeurs	Température optimum	Pluie optimum	Humidité désirable	somme de températures actives (en °C)	Indice hydrot hermal	Irrigué / Non irriguée	Remarques
<b><i>L'arboriculture</i></b>							
Les abricotiers	>20°C	>300mm	+	4000/6000	1	I	Hiver froid/Été chaud
Les agrumes	15°C/23°C	300mm	+	5000/7000	>1	I	Risque des vents forts aux périodes de floraison.
Les amandiers	>30°C(en été)	>300mm		5000/7000	0.75	NI	
Les figuiers	>30°C (en période de murissement)	>200mm	+	5000/7000	0.75	NI	-13 h d'ensoleillement/jour -Nuit tempérée
Les oliviers	>25°C	>300mm		6000/7000	>0.75	NI	-50kg/arbre (zones Est) -hiver tempéré
Les pêchers	7°C /25°C	>300mm	-	4000/7000	0.75	I/NI	-Hiver froid/Été chaud
Les pommiers	8°C/23 °C	>500mm	+	3000/7000	1	I/NI	1000h d'ensoleillement/an >7°C en hiver et 2000h /an >23°C en été lors de la maturation.
<b><i>Les céréales</i></b>							
Le blé	32 °C	>300mm	-	4000/7000	1.5	NI	
L'orge	6°C / 32°C	>200mm		3000/8000	0.6	NI	
<b><i>Les légumes</i></b>							
Les aubergines	>20°C	>700mm	+	1500/3000	>1	I	>10°C La nuit
La bette	>20 °C	>700mm	+	1500/4000	>1	I	10h d'ensoleillement/J
Les carottes	15°C/25°C	>700mm	+	1500/3000	>1	I	
Les concombres	>15°C	>700mm	+	1500/3000	>1	I	
Les courges	>20 °C	>700mm	+	>1500	>1	I	>12h d'ensoleillement/J lors de la maturation,

La fève	>20 °C	>700mm		1500/3000	>1	I	
La laitue	>20 °C	>700mm	+	1500/3000	>1	I	>10h d'ensoleillement lors de la maturation.
Les melons	>20 °C	>700mm	+	>1400	>1	I	Avec une température élevée lors de la maturation.
Les oignons	>30°C		-	1500/5000	>1	I	>12h d'ensoleillement/J lors de la maturation.
Les pastèques	>20 °C	700mm	+	1500/4000	>1	I	>12h d'ensoleillement/J avec une température élevée lors de la maturation.
Les piments	12°C/30 °C	>250mm	+	1500/3000	>1	I	
Les tomates	21/27°C jour 10/20°C nuit	>700mm	+	1500/3000	>1	I	

## 2 Les contraintes des changements climatiques et les problèmes de l'agriculture.

L'agriculture dans la région du Sahel est marquée par des conditions hydrothermales alarmantes qui mettent en évidence la faible pluviométrie (dont la moyenne annuelle ne dépasse pas les 400 millimètres), les niveaux élevés de l'ETP et les ressources en eau dépendante du climat dont le régime pluviométrique a un caractère erratique, irrégulier et excessif dont l'écoulement temporaire et torrentiel, ajoutons à ces aspects autres importants manifestations et épreuves de contraintes climatiques à l'établissement d'une agriculture pérenne dans les deux zones de cette région telles que :

### 2-1 L'aridité et la sécheresse :

Le Dictionnaire Français d'Hydrologie de surface définit ces phénomènes par :

«état moyen dans le temps du climat d'une région et de ses conséquences, caractérisé par de faibles précipitations et une végétation pauvre. La notion d'aridité dépend aussi d'autres facteurs climatiques, notamment de la température; au point de vue de la végétation, il est plus correct de définir l'aridité à partir du déficit hydrique ...»

(ROCHE, 1986)<sup>58</sup>

Tant que toute la région du Sahel tunisien est caractérisée par la sécheresse et l'aridité -selon les divers indices et en particulier celui de *SILIANINOV*<sup>59</sup> évalué à : 0,49 pour la zone semi-aride à l'Est et 0,33 pour la zone aride au sud-ouest, ce qui est confirmé par l'indice de l'UNESCO/FAO qui est de 0,20 à 0,50 pour les zones semi-arides et de 0,03 à 0,20 pour les zones arides et aussi par l'indice de PENMAN de l'évaporation des sols nus dans les zones arides :  $P < 0,35 \text{ ETP}$ -, plusieurs faits ont gravement touché toute la région surtout pendant les années : 1988, 1989, 1994 et 1995, 1997 1999 et 2000, ces faits s'accroissent de plus en plus sous l'effet du réchauffement qui s'est traduit par une faiblesse et régression relatives des pluies ainsi que leur irrégularité, une évaporation potentielle intense, des vents secs et aussi par une pression progressive de la population sur ce milieu naturel fragile menacé par une hyperaridité imminente dans sa zone sud-ouest et d'une aridité à l'Est pour la zone côtière.

Ce phénomène qui se manifeste particulièrement dans la zone sud-ouest du Sahel est le révélateur de l'aridité, la pluviosité moindre et sa variabilité plus grande ont accru la vulnérabilité des ressources naturelles à sa dégradation, et il est devenu moins facile ses systèmes écologiques et sociaux de résister. Cependant, on a remarqué que l'impact de cette sécheresse est faible ou négligeable là où la présence humaine et animale est faible. Pour l'ensemble des auteurs, l'accentuation des phénomènes de sécheresse n'est pas à l'origine de l'aridité, mais elle constitue un facteur important d'aggravation de l'effet anthropique sur la dégradation des terres en cette zone.

---

<sup>58</sup> ROCHE, M., (1986), Dictionnaire Français d'Hydrologie de surface, Masson, Paris. (FR)

<sup>59</sup> MAHER, M., (1995). Op. cit, p. 35.

Les phénomènes de la sécheresse et de l'aridité constituent un problème de développement et d'environnement dans le Sahel. Ils affectent l'environnement local et le mode de vie des populations, mais leurs effets ont des retentissements plus globaux au niveau de la biodiversité, des changements climatiques et des ressources en eau. Étroitement liée à l'activité humaine, la dégradation des terres constitue à la fois une des conséquences du mal-développement et une entrave au développement durable de cette région.

## **2-2 La grêle :**

C'est un phénomène dévastateur, qui se forme durant des orages violents et prend la forme de grêlons de glace dont le diamètre varie de quelques millimètres à une dizaine de centimètres. Ce phénomène destructeur pour les récoltes qui s'abat au sol à grande vitesse, surtout quand il s'accompagne de vents violents en engendrant des graves dégâts pour les récoltes et des produits agraires dans la région (les arboricultures et les céréales). Il s'est reproduit ces dernières années de deux à trois fois chaque année et d'une manière répétitive, surtout au printemps lors des périodes de floraison. Ceci menace des milliers d'hectares d'arboriculture, de céréales et des produits maraichers surtout dans les délégations côtières.

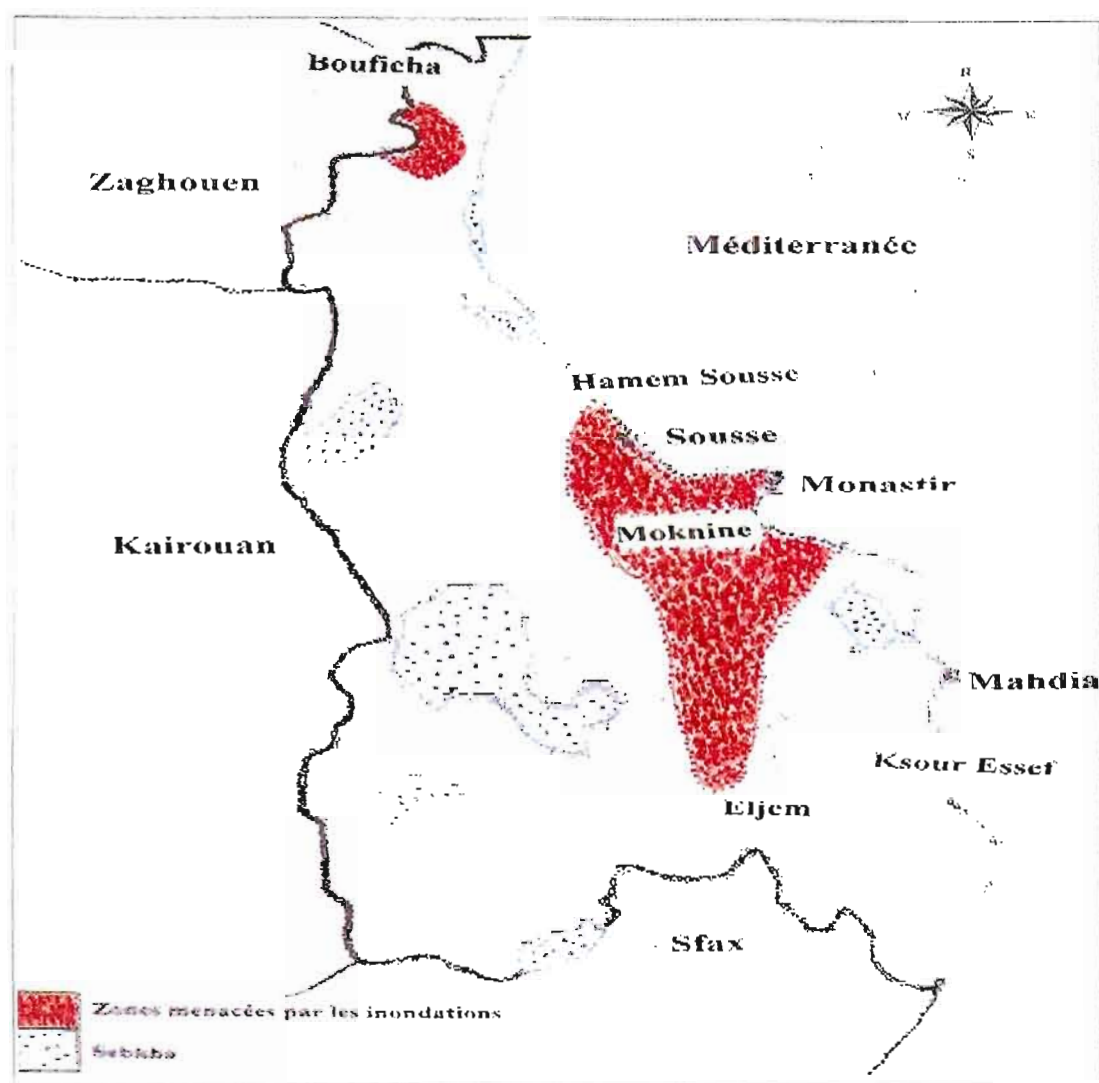
## **2-3 Le smog :**

Le smog se comporte comme un buvard à l'égard de certains polluants, dont certains acides chlorhydrique et sulfurique. Les dégâts attribués aux pluies acides étaient en réalité souvent dus aux brumes polluées par les acides émis par le chauffage, l'industrie et les véhicules. C'est un phénomène qui menace l'agriculture, spécialement les maraichages, les arbres fruitiers et les céréales en engendrant des infestations (champignons, insectes et criquets, etc.), dans les zones côtières à l'Est de la région et les périphéries des métropoles de la région et qui est en progression ces dernières années.

#### **2-4 Les crues et les inondations :**

Les inondations dans cette région ont été plus fréquentes en intensité et en extension au cours des 5 dernières décennies. Elles sont un aspect important des changements climatiques qui touchent particulièrement la zone côtière de la région, surtout en automne et en hiver, et dont leurs risques restent relatifs et en rapport avec les pluies diluviennes irrégulières aggravées par l'évaporation potentielle intense et associée à des vents violents, et sont très variables dans l'espace et dans le temps. Elles sont dues à une augmentation du débit des cours d'eau engendrés par des pluies torrentielles et sérieuses pendant quelques jours en provoquant des inondations pour les champs des récoltes, surtout si le sol est encore saturé à la suite de tempêtes précédentes et augmentent le pouvoir érosif et le décapage des sols. Plusieurs inondations dévastatrices ont été observées depuis le début du siècle, notamment durant les trois dernières décennies: 1969, 1973, 1979, 1982, 1984, 1990, 1992, 2003, 2004 et 2005. Ces inondations qui ont provoqué des graves dommages au niveau des récoltes dans toute la région (figure 3.1).

Figure 3.1: Carte des zones menacées par l'inondation au Sahel



Échelle : 1 : 10 000

## **2-5 Les tempêtes :**

Elles se sont accentuées au cours des dernières années, comme un aspect des changements climatiques qui touchent particulièrement les stations du Sud-ouest surtout en automne et en hiver. Ces tempêtes sont considérées comme des phénomènes climatiques extrêmes, elles se manifestent sous forme d'orages accompagnés souvent de vents très forts, de grêle, d'éclairs et des pluies torrentielles. Un orage dure souvent plus d'une heure, mais il ravage les cultures notamment les maraîchères, verse des céréales et cause des troubles de pollinisation.

## **2-6 La menace par l'érosion hydrique et éolienne:**

La région du Sahel a beaucoup perdu de sa vocation initiale pour se transformer en zone agricole dominée par l'arboriculture, principalement l'olivier. Elle est caractérisée par des sols plus ou moins légers et assez profonds dans les plaines alluviales du Souassi, Eljem, Nfidha et Bouficha des zones côtières qui sont complètement transformées en zones agricoles. Elles subissent l'érosion hydrique (qui atteint son ampleur maximale surtout à la fin d'août et au début de septembre où les pluies sont torrentielles et les sols sont presque dénudés après une saison sèche relativement longue) et la pression de pâturage par les sapements des berges et surtout l'érosion éolienne favorisée par la présence de sols légers et meubles, pulvérisés par les labours fréquents surtout par les éléments à disque, tels que les charrues à disques qui provoquent le fort émiettement du sol, notamment dans les aires plantées en oliviers très espacés.

Ces plaines constituent de grandes surfaces d'épandage des eaux de crues provenant des eaux de ruissellement qui s'y accumulent pour former des *Sebkhs* (*Kelbia, Sidi el Hani...*) où une végétation halophile s'est développée sur des sols halomorphes. Les formes de dégradation les plus importantes et les plus répandues sont l'érosion hydrique sur les versants des reliefs tabulaires collinaires des zones sud-ouest, l'érosion éolienne dans les plaines alluviales emblavées en céréales et plantées en arbres fruitiers et la salinisation dans les périmètres irrigués avec une eau assez chargée en sel et sans drainage.

Les agents de l'érosion dans la région du Sahel tunisien sont principalement l'eau et le vent, chacun provoquant une perte importante de sol chaque année dans la région notamment au sud-ouest (Chorben, Hebira, Souassi...). L'érosion est très agressive et visible dans les différentes zones, entraînant une perte énorme en terres arables. Le lessivage de ces terres peut procéder en une réduction du potentiel de production, en une réduction de la qualité d'eau de surface et en engorgement des réseaux de drainage, lacs, barrages et lacs collinaires accentués par l'intensité des différents autres aspects du réchauffement qui dominent les deux zones de cette région (la régression, l'irrégularité relative des pluies et l'évaporation potentielle intense...)

#### **2.6.1 L'érosion éolienne :**

L'érosion éolienne crée des conditions catastrophiques dans les champs et les sols arables dans toute la région et particulièrement au sud-ouest pendant les inter saisons (surtout au début du printemps et début l'été). Les valeurs élevées, observées en 1981, 1984 et 1985, excèdent 30m/s, l'intensité instantanée maximale du vent ne dépasse guère 12m/s. Les moyennes annuelles mesurées montrent en général, une répartition homogène des différentes directions des vents. Les cultures peuvent être complètement détruites ou dégradées si bien que des délais coûteux et un réensemencement sont indispensables. Les plantes peuvent aussi être lacérées par les particules de sol et retardées dans leur croissance engendrant ainsi une baisse des récoltes, une baisse des nappes phréatiques pour l'irriguer, une augmentation des températures et de l'évapotranspiration potentielle (ETP).

#### **2.6.2 L'érosion hydrique :**

La menace par l'érosion hydrique dans la région du Sahel est liée au climat méditerranéen qui domine la région. Ce climat est caractérisé par l'irrégularité inter saisonnière et interannuelle du régime des pluies et par sa violence notamment au cours des deux dernières décennies surtout dans la zone interne au sud-ouest.



Ainsi, l'érosion conduit à l'obtention des sols squelettiques, appauvris et à faibles profondeurs auxquels s'ajoute un climat sec où il y a manque de ressources hydriques. Ceci rend l'agriculture difficile et tributaire des conditions climatiques. Le sol étant la cible des facteurs climatiques et anthropiques, il est incapable de subvenir aux besoins des plantes et par conséquent aux besoins de l'humain. Il est préférable afin de diminuer les risques d'érosion de traiter les sols par des apports de fumier organique (engrais vert, fumier, etc.) pour augmenter la cohésion entre leurs particules.

## **2-7 La salinité**

Le mauvais drainage suivi par les agriculteurs de la région endommage de nombreux périmètres irrigués par la salinisation qui varie entre 1,5 et 3 g/litre. Dans la zone sud-ouest aride (Hebira, Chorben, Ouled Chamekh, Souassi, Eljem), le ruissellement de l'eau d'irrigation doit éliminer les sels qui se trouvent naturellement dans le sol car si ils ne sont pas retirés, ils s'accumulent dans le sol et finissent par remonter à la surface, où ils menacent les cultures irriguées et empoisonnent les terres. Le mauvais drainage de l'eau d'irrigation peut aussi faire remonter la nappe phréatique jusqu'au niveau de la zone racinaire, où elle sature les sols et noie les plantes. L'accumulation des sels dans les sols a sérieusement endommagé des hectares dans la région par la salinisation, la saturation et le mauvais drainage.

L'analyse distingue les impacts à court terme qui se limitent à l'année d'irrigation, et ceux à long terme. Selon les études, les impacts des pratiques actuelles d'irrigation engendrent la perte des superficies supérieure à 1% de la superficie agricole irriguée, dont 20% représenteraient une perte irrévocable. La perte est en terme de production, c'est lorsque la salinisation du sol augmente, suite à une irrigation inappropriée avec des eaux chargées de salinité, sa productivité baisse. L'évaluation de cette baisse se calcule en perte à hectare, c'est-à-dire qu'une superficie irriguée est présumée perdue. D'une manière explicite, il ne s'agit pas de perte de sol ; nous avons plutôt affaire à une baisse de productivité des sols qui se traduit par une perte de rendement par hectare irrigué, de modification de structure, de pulvérisation et de décapage des sols.

Globalement, la salinité au Sahel engendre des pertes annuelles d'environ 350 ha, dont 1/5 sont irrémédiablement perdus. En utilisant comme valeur ajoutée de la production agricole irriguée 3000 DT/ha en 2004. Globalement, le dommage annuel dû à la salinité s'élèverait donc à environ 8 millions DT en 2004.

**Tableau 3.11 : Récapitulatif des contraintes majeures des changements climatiques en rapport avec l'agriculture au Sahel tunisien**

Aspects des changements climatiques	Les caractéristiques de répercussions
Températures maximales plus élevées, plus de journées chaudes et des vagues de chaleur dans presque toutes les régions terrestres	* Augmentation du risque de dommages pour de nombreuses cultures
Épisodes de précipitations plus intenses dans de nombreuses régions	* Augmentation des dommages due aux inondations, glissements des terrains et coulées de boue  * Augmentation de l'érosion du sol  * Augmentation des crues pouvant accroître la recharge des aquifères des plaines inondables
Intensification de l'assèchement en été sur la plupart de la région intérieure et risque connexe de sécheresse	* Baisse de rendement des cultures  * Augmentation des dommages aux fondations des bâtiments causés par le refoulement du sol  * Diminution de la quantité et de la qualité des ressources en eau
Intensification des sécheresses et des inondations associées aux épisodes dans la région	* Baisse de productivité des terres agricoles et des pâturages dans les régions susceptibles de sécheresse ou d'inondation

### 3 Les contraintes humaines

#### 3-1 La dégradation des terres dans la région du Sahel:

Cette aridité qui a dominé la région ces dernières années due essentiellement à une évaporation potentielle intense et faiblesse et régression des pluies est aggravée par des activités humaines. L'accroissement de la population à 1 379 566 habitants avec une densité de 210 ha/km<sup>2</sup> et l'urbanisation entraînent en effet une demande alimentaire croissante. L'accroissement de la production agricole s'est fait au prix d'une pression accrue sur cet espace limité, l'environnement et les ressources naturelles. Au travers des pratiques inadaptées: surpâturage, extension de défrichement, déforestation... s'exercent des actions sur le couvert végétal et sur les sols amenant des risques sérieux de dégradation. Fréquemment, la satisfaction de besoins pressants à court terme associée à des crises climatiques, démographiques et économiques imprévues accentuent l'impact de ces pratiques et conduisent aux processus de désertification de cette région.

Le Sahel est généralement touché par le phénomène de la dégradation des ressources en sols qui s'étendent de plus en plus sous l'effet de la sécheresse et de l'aridité du climat, de l'importance des vents et de la pression croissante de la population et des ses différentes mauvaises utilisations du sol et d'une gestion non rationnelle de l'espace de ce milieu fragile. L'extension des terres de cultures aux dépens des parcours et l'évolution du secteur de l'élevage et de têtes de cheptel (494 223 têtes de bovins, ovins et caprins, réparties dans un espace qui couvre plus que 534 561 ha) <sup>60</sup> ont entraîné une surexploitation des surfaces pâturées. La mise en culture des terres marginales par l'utilisation d'un matériel agricole inadéquat a favorisé l'intensification du phénomène de la désertification et a accéléré leur dégradation. À travers l'analyse de l'écosystème qui caractérise la région du Sahel, il se dégage que toutes ses ressources naturelles sont menacées.

---

<sup>60</sup> INS 2005: op. cit. : Cheptel au Sahel Tunisien (en têtes) : Gouvernorat de Sousse : (14 000 bovins, 182 000 ovins, 6 500 caprins), Gouvernorat de Monastir : (7 000 bovins de race ,8 600 bovins locaux, 120 000 ovins, 3 033

caprins) et le gouvernorat de Mahdia (21 090 bovins de race, 14 000 bovins locaux, 118 000 ovins, 7 000 caprins).

### **3-2 La surexploitation des nappes aquifères côtières :**

Du fait de la surexploitation des nappes côtières, l'équilibre hydrodynamique fragile des nappes côtières et des réserves est menacé par une contamination par les eaux marines chargées en sels. Ce phénomène de contamination qui a abouti souvent à l'invasion totale des nappes côtières surexploitées est irréversible. En plus des nappes côtières, le phénomène de contamination touche les nappes intérieures voisines des «*Sebkhs*».

Les analyses montrent que les nappes phréatiques sont légèrement surexploitées avec un taux d'utilisation de l'ordre de 106 % en 2005, alors que les nappes profondes sont loin de l'être avec un taux d'exploitation en 2004 qui ne dépasse pas les 80%.

Cependant, ce résultat optimiste est malheureusement la conséquence fâcheuse du niveau d'agrégation. En effet, si nous passons à une analyse plus fine au niveau régional et surtout au niveau des nappes, nous allons réaliser que la surexploitation atteint parfois des seuils alarmants. En se basant sur ces données qui illustrent l'ampleur de la surexploitation réelle des eaux souterraines. On peut constater que la surexploitation des nappes profondes touche toutes les régions et atteint même 117% dans la zone la plus affectée. S'agissant des nappes phréatiques, le taux de surexploitation est assez élevé au nord-est, au sud-ouest grimpe à un seuil alarmant au centre-est avec un taux de 150%.

Ce phénomène menace des milliers d'hectares notamment de terres agricoles qui sont perdues chaque année à cause de la diminution de sa fertilité et de la baisse des rendements.

Ces phénomènes sont accentués par les transformations socio-économiques notamment dans les zones rurales :

- Utilisation des pratiques culturales inadéquates (déchaumage, labours dans le sens de la pente...) liées à la mécanisation des activités agricoles.
- Une surexploitation des terres de parcours entraînant leur fragilisation.
- Un défrichement considérable de certaines zones marginales et de parcours et leur mise en exploitation pour répondre aux besoins de la population croissante.

Le tableau ci-dessous (3.12) fait ressortir les différents écosystèmes et les types de dégradation qu'ils subissent.

**Tableau 3.12 Menaces sur les principaux écosystèmes naturels et agricoles de la zone côtière et le sud-ouest du Sahel.**

<b>Types d'écosystèmes</b>	<b>Menaces</b>
<u>La steppe sud-ouest :</u> Écosystèmes steppiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rétrécissement des aires de parcours par la mise en culture.</li> <li>- Défrichement, labour répété entraînent la pulvérisation des horizons superficiels soumis à l'érosion.</li> <li>- Appauvrissement des sols par déflation et concentration des éléments bruts stériles.</li> <li>- Surexploitation de la nappe alfatière et sa dégradation.</li> </ul>
<u>Les zones côtières de l'Est :</u> des « <i>Sebkhs</i> » et des zones marécageuses	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pollution des « <i>Sebkhs</i> » et des zones dépressionnaires par accumulation des rejets nuisibles.</li> <li>- Alimentation en eau pluviale, diminuée par les aménagements à l'amont (CES, barrages et lacs collinaires, etc.) entraînant un dessèchement des marécages et disparition de la flore et faune spécifiques des marécages.</li> </ul>
<u>Les milieux cultivés :</u> Les forêts d'oliviers (Zones côtière et sud-ouest)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disparition quasi totale de la végétation steppique de la région</li> <li>- Labours répétés, pulvérisation du sol, érosion éolienne.</li> <li>- Faible restitution de la matière organique, sol très appauvri, perte de la cohésion du sol.</li> <li>- Répercussions catastrophiques sur les sols (désertification).</li> </ul>
<u>Les périmètres irrigués :</u> - Zone côtière :  - Zone sud-ouest :	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menaces de la viabilité des exploitations en raison du morcellement.</li> <li>- Menaces dues à la salinisation des sols</li> </ul>

À travers l'analyse de tous les écosystèmes qui caractérisent la région du Sahel, il se dégage que toutes les ressources naturelles sont menacées. Donc pour mieux remédier cette situation, l'évaluation des aspects de la dégradation des terres est un passage nécessaire pour ajuster les interventions et juger leur efficacité.

### **3-3 La hiérarchisation des différents paysages et de leur sensibilité en vue des choix judicieux des sites pour le suivi :**

En vue de déterminer les zones à risques et les zones partiellement stables dans la région, on a procédé à l'analyse des modes d'exploitation, des pratiques agricoles et des problématiques dans les différents sites agricoles visités à Chorbèn, Eljem, Chot Meriem, Hebira, Sayada, Moknine, Chebba, Ksour Essef, Hergla, Enfidha et Ouled Echamekh, pendant la période des mois d'avril/août 2007 et juin/août 2008.

Lors de ces visites on a synthétisé dans les 2 tableaux ci-dessous (3.13 et 3.14), l'intensité de chaque problématique et l'importance de chaque mode d'exploitation évaluée qualitativement par les lettres suivantes :

- A : Forte présence de la problématique
- B : Présence moyenne de la problématique
- C : Très faible à inexistant

**Tableau 3.13 : Problématiques dans les systèmes agraires**

<b>Problématiques</b>	<b>Zone Sud-ouest</b>	<b>Zone côtière Est</b>
Inadéquation entre ressources en eau disponibles et périmètres irrigués : Surexploitation des nappes	C	A
Irrigation à l'eau saumâtre et salinisation des sols	A	C
L'agriculture de ruissellement et les problèmes d'entretien des aménagements hydrauliques	A	A
Extension de l'agriculture au détriment des parcours	A	C
L'arboriculture dans les steppes sableuses et l'érosion éolienne	B	C
Mauvaise affectation des terres	A	A
Le parcours face au surpâturage	A	B
L'extension de la mise en culture au détriment du couvert végétal et des parcours	B	C

**Tableau 3.14 : Modes d'exploitation des systèmes agraires**

<b>Modes d'exploitation</b>	<b>La région du Sahel</b>
Agriculture sous-abri	C
Cultures annuelles en irrigué, maraichage	A
Arboriculture en irrigué	C
Cultures annuelles en sec	A
Arboriculture en sec	B

L'analyse des deux tableaux fait ressortir que toute la région du Sahel souffre le plus de la problématique des modes d'exploitation. Il faut noter surtout, l'importance du surpâturage et de l'emprise de l'agriculture sur les terres sensibles de la région. Cette problématique est à l'origine de l'émergence de la désertification et la déshydratation exprimée par les ensablements, l'appauvrissement de la biodiversité et particulièrement la surexploitation des nappes et la salinisation des eaux. Par ailleurs, le Sahel de Sousse souffre relativement moins de problématiques malgré l'existence d'une diversité dans le mode d'exploitation.

.....



## **CHAPITRE IV**

### **LES PISTES DE SOLUTIONS POSSIBLES**

#### **1 Cadre législatif :**

Pour rationaliser l'exploitation des ressources naturelles de la région du Sahel dont l'écosystème est très fragile, le recours à la législation est considéré comme le moyen le plus efficient et opérant. La législation se substituant à la protection des ressources naturelles était fragmentée avant l'apparition des codes des ressources naturelles tels que les eaux, les forêts, et le sol. Elle se basait sur des décrets et lois tels que la création de périmètres de protection et de restauration des sols en 1949, la conservation du patrimoine forestier et des terres agricoles en 1958, la fixation du régime des terres collectives, etc. Les carences sont de taille telle que l'absence de l'implication des manipulateurs économiques dans la conception, la réalisation et l'entretien des aménagements et la faiblesse des structures agraires inadaptées : indivision, morcellement absence de titres fonciers...

La nouvelle vision de gestion des ressources naturelles a amené l'État tunisien à dissoudre cette législation fragmentée en des codes -code forestier, code des eaux et loi sur la CES-. Ces trois codes marquent la procédure de gestion durable et efficace de ces ressources menacées de dégradation et de surexploitation.

##### **1-1 La législation sur la conservation des sols**

Sans attendre, l'état conscient de la gravité du phénomène a procédé à réglementer l'utilisation des terres. Depuis le 6 octobre 1949, date de la promulgation du premier texte sur la défense et la restauration des sols la législation tunisienne s'est enrichie de plusieurs textes traitant de la conservation et de la protection des terres agricoles et de l'apport des différents programmes et projets mis en œuvre -ce qui est le cas de la loi de protection des terres agricoles de 1983, principal texte législatif en la matière, répartie les

terres en trois zones : zone d'interdiction, zone de sauvegarde et zone soumise à autorisation (les forêts d'oliviers font partie de la zone de sauvegarde, Loi N° 83-87 du 11 novembre 1983 relative à la protection des Terres agricoles, Art. 5). Ce qui induit une prise de conscience et un savoir-faire acquis beaucoup plus par les services techniques eux-mêmes que par la population rurale qui exploite les terres.

L'insuffisance de l'implication des opérateurs économiques dans la conception, la réalisation et l'entretien des aménagements constituent les causes majeures de l'échec dans certaines zones des programmes de Centre d'Étude du Sol (CES). Ce constat a poussé les responsables chargés de la CES qui adhèrent au concept de gestion durable des ressources naturelles à refondre la législation relative à la CES en un code promulgué par la loi n° 70-95 du 17 juillet 1995.

Ce qui caractérise ce code c'est la contribution au niveau central, régional et local à tout programme du (CES). Il accorde un intérêt capital à l'organisation de la population rurale concernée en associations pour la mise en œuvre, le suivi et l'entretien des ouvrages réalisés. Il prévoit deux structures principales :

- Les conseils régionaux (au niveau de chaque gouvernorat), chargés de donner leur avis sur la création de périmètres d'intervention de CES et des plans d'aménagement y afférents.
- Les associations de Centre d'Étude du Sol (CES) groupant exploitants et propriétaires des périmètres d'intervention.

## **1-2 La législation sur les eaux : Code des eaux**

L'exploitation agricole en Tunisie est distinguée par le secteur irrigué qui domine des espaces limités de 400.000 ha dont 24 107 ha pour la région du Sahel. Pour l'état tunisien, l'option hydraulique a été toujours le meilleur moyen pour lutter contre l'aridité d'où une législation sur l'eau a été conçue tenant compte de la pénurie de l'eau, de sa vulnérabilité à la dégradation et de l'accroissement des besoins qui exigent une économie de l'eau.

La gestion de cette ressource est régie par le code des eaux qui est ordonné par des lois (tableau II.IV). Ce code consacre le principe de la domanialité de l'eau et le droit de propriété a été converti en droit d'usage.

Le Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques (MARH) assure la gestion du domaine public hydraulique, il est soutenu au niveau national par le Comité National de l'Eau et par la Commission du Domaine Public Hydraulique et au niveau régional de chaque gouvernorat par les associations et les Groupes d'Intérêt Hydraulique (GIH). L'exploitation de l'eau relève du régime de la concession et ouvre droit à la redevance proportionnelle à la quantité utilisée.

Pour les nappes superficielles en dehors des zones de sauvegarde, la permission n'est pas exigée, mais les services concernés doivent être informés. Le domaine Public Hydraulique (DPH) (Oueds, Lacs, etc....) possède une réglementation sévère favorisant sa conservation et sa protection et réglementant son utilisation. Le code prévoit une police pour la conservation du DPH. A l'heure présente, cette vigilance est jugée peu agissante, elle exige une meilleure disposition pour plus d'efficacité.

Pour répondre à la politique adoptée sur l'économie de l'eau, la tarification de l'eau devrait être révisée pour tenir compte à la fois du prix de revient réel du m<sup>3</sup> d'eau et de la faible capacité de paiement de l'agriculteur victime des faiblesses en question de production d'écoulement et de commercialisation.

## **2 Cadre institutionnel**

Pour défendre et assurer une bonne administration des ressources naturelles, des structures ont été créées sur le plan national et régional tels que :

- Les Comités de Développement (CD), les Associations d'Intérêt Collectif pour la gestion de l'eau (AIC) du patrimoine forestier et les Associations la Conservation des Eaux et Sol (ACES) et les Coopératives de Services Agricoles (CSA). Afin d'éviter la multiplication des associations sectorielles (eau, forêt, sol) l'État a créé en 1999 une nouvelle structure appelée :

-Groupement de Développement de l'Agriculture (GDA) remplaçant ces associations (Loi n° 99-43 du 10/05/1999).

-Les Coopératives de Services Agricoles (CSA) par des Sociétés Mutuelles de Service Agricole (SMSA).

## **2-1 Les organismes et les institutions concernés :**

### **2-1-1 Le Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques (MARH) :**

Afin d'être plus opérationnel, il a créé au niveau régional autant de Commissariats Régionaux de Développement Agricole (CRDA) que de gouvernorats. Ces derniers représentent le Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques au niveau du gouvernorat et sont chargés de l'application et de l'exécution des programmes et des projets agréés par le conseil régional de développement du gouvernorat. Quant au niveau local – délégations- il existe des chambres et des Cellules Territoriales de Vulgarisation (CTV) qui regroupent des Centres de Rayonnement Agricole (CRA). Il existe en outre certains services et organismes sous la surveillance de ce ministère (MARH).

### **2-1-2 Les structures techniques chargées de la gestion des terres :**

\* La Direction Générale de l'Aménagement et de la Conservation des Terres Agricoles (ACTA), est en étroite rapport avec les CRDA. Elle est chargée de mettre en œuvre la politique nationale en matière de conservation des eaux et des sols. Celle-ci se résume à l'élaboration des plans et des orientations pour la préservation des ressources naturelles eau, sol, terres agricoles...

Elle comprend quatre directions :

- La Direction de l'aménagement de l'espace rural (AER).
- La Direction de l'aménagement et de la valorisation des ouvrages (DAVO).
- La Direction des études et suivi des travaux (DEST).
- La Direction des sols (DS), qui est impliquée dans l'inventaire des sols, le suivi et le contrôle de fertilité et de la dégradation des sols.

\* La Direction régionale des Ressources en Eau (DGRE) : Elle entreprend des activités de recherche et d'expérimentation concernant les ressources en eaux conventionnelles -eau de surface et eau souterraines- et non conventionnelles -eaux usées, eaux dessalées, etc.

### **2-1-3 Les institutions de recherche et d'intervention dans la région du Sahel :**

- Institut national de la recherche agronomique de Tunisie (INRAT)
- Le Centre National de Télédétection (CNT)
- L'Office de la Topographie et de la Cartographie

### **2-1-4 Le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable**

- L'office national de l'assainissement (ONAS)
- L'Agence Nationale de Protection de l'Environnement (ANPE)
- Le Centre International des Technologies de l'Environnement de Tunis (CITET)
- L'Agence Nationale des Énergies Renouvelables (ANER)

## **3 Les méthodes et les options d'adaptation possibles, visant à limiter les effets des changements climatiques et de la sécheresse au Sahel:**

### **Les échelles d'intervention sur la demande en eau**

La gestion par la demande de l'eau agricole peut être effectuée à plusieurs échelles, auxquelles doivent être adaptés les instruments de gestion :

- Au niveau de la parcelle : choix de techniques d'irrigation plus ou moins économes : goutte à goutte, micro aspersion et irrigation gravitaire modernisée, etc.
- Au niveau des soles cultivées : choix de productions plus ou moins exigeantes et de leur importance relative dans l'assolement et de types d'usagers moins consommateurs.
- Au niveau de l'exploitation et du périmètre irrigué: choix d'allocation prioritaire entre parcelles ou secteurs, efficience de la distribution, coordination offre /demande par des règles de distribution.

Selon l'échelle choisie, la notion de demande n'a pas la même signification et n'est pas estimée de la même façon ; ainsi dans le cas de l'irrigation la demande en eau peut désigner :

- Le besoin en eau des cultures, qui se calcule d'après l'ETP, le coefficient cultural et les caractéristiques du sol.
- Le besoin en eau d'irrigation qui intègre l'efficience de la distribution du système d'irrigation, depuis le point de prélèvement jusqu'à la parcelle irriguée : fuites, percolation et évaporation entre le point de prélèvement et la parcelle, pertes par infiltration et par colature notamment liées à une répartition hétérogène de l'eau dans la parcelle.
- Le besoin en eau qui est en rapport avec le comportement de l'utilisateur : son objectif de rendement par parcelle, son pilotage de l'irrigation au cours de la campagne agricole et ses stratégies d'investissement et d'assolement.

Affichons là les différents outils de gestion, classés selon deux grandes catégories : les dispositifs économiques et les instruments non économiques. La classe des dispositifs techniques, susceptible d'être rattachée aux deux premières selon le contexte, est traitée en préliminaire.

### **Des dispositifs techniques de gestion par la demande**

Ce sont des outils visant à une utilisation plus efficiente de l'eau ou encourageant l'économie d'eau. On cite par exemple, selon les échelles d'application évoquées antérieurement :

- Au niveau d'une exploitation agricole, l'utilisation de cultures moins consommatrices en eau, l'établissement des compteurs volumétriques, l'électrification des pompes, le nivelage du sol.
- Au niveau des périmètres d'irrigation, le tracé des canaux de distribution, un réseau à faible pression ou sous-pression pour réduire l'évaporation et les pertes par percolation et une adaptation de l'offre à la demande.
- Au niveau des zones de la région, l'utilisation des modèles de gestion qui peuvent permettre aux gestionnaires de mieux allouer l'eau basée sur des Systèmes d'Information Géographique intégrant les données d'un modèle numérique de nappes et les données sur la demande en eau issues à la fois d'interprétation d'images satellites et de mesures d'efficacités sur le terrain.

La mise en place de ces divers dispositifs est généralement agréée par des subventions et des prêts accordés par le mandataire, ou par un système de suivi ou de moyens de contrôle. Dans les deux cas, ils doivent obligatoirement s'accompagner d'un effort de vulgarisation.

### **3-1 Mobilisation de ressources hydriques non conventionnelles dans la région.**

Les aménagements hydrauliques avec la construction des stations de désalinisation des eaux de mer et de traitement des eaux usées à multiples usages dans la région, ont été envisagés depuis le début des années soixante-dix pour assurer le développement de l'irrigation et pour répondre aux besoins croissants en eau pendant les périodes de sécheresse telles que les années 1988, 1989, 1994 et 1995, 1997 1999 et 2000, et qui commencent à devenir plus fréquentes et plus longues.

#### **3-1-1 La désalinisation de l'eau de mer :**

L'exploitation de l'eau de mer est un sujet d'actualité en Tunisie et dans la région du Sahel particulièrement à cause de l'aridité et de la sécheresse qui frappent fort depuis plusieurs années, car l'eau de mer peut servir à accroître les volumes d'eau disponible en additionnant à l'eau douce une certaine quantité d'eau de mer pour qui apporteront des sels et élèveront la salinité de l'eau d'irrigation. Mais ces dernières années des essais de désalinisation à Sousse et à Monastir ont été entrepris pour désaliniser l'eau par distillation avec des distillateurs solaires, ou par électrodialyse <sup>61</sup>. Cette méthode est beaucoup plus viable si la conductivité de l'eau pouvait être accrue, les résultats obtenus sont satisfaisants, mais très coûteux pour un pays tel que la Tunisie.

#### **3-1-2 Traitement et utilisation des eaux usées pour l'irrigation :**

Le développement et le déploiement de l'urbanisation, du tourisme, et de

---

<sup>61</sup> THE LAB-AUSTRALIEN BROADCASTING CORPORATION'S GATEWAY TO SCIENCE (ABC GS), news in science. ([www.abc.net.au/science/news/](http://www.abc.net.au/science/news/)). Page consultée le 19/02/2008.

l'industrie <sup>62</sup> ont poussé les autorités à entreprendre les mesures adéquates afin de protéger les sites de rejet des eaux usées d'une pollution certaine à plus ou moins longue échéance. La création des stations d'épuration autour des principales concentrations urbaines et touristiques est devenue impérative comme mesure de prévention et de réduction du risque. Avec la création des stations d'épuration dans la région et ses différentes délégations, le volume des eaux épurées rejetées devient de plus en plus important. Ces eaux constituent présentement des ressources non négligeables pour la création des périmètres irrigués. Ces eaux de seconde main sont toujours disponibles indépendamment des temps. Le recyclage de ces importantes quantités d'eau en agriculture est une solution avisée. La réutilisation de ces eaux traitées débouchera sur deux avantages capitaux pour l'agriculture et pour l'environnement.

Les eaux usées des agglomérations et des industries, agricoles ou non, ne peuvent pas être acheminées directement dans les cours d'eau en raison des pollutions dangereuses qu'elles risquent de provoquer et des dégâts qui peuvent en résulter pour la population de la région et la faune aquatique. Elles doivent d'abord être épurées des résidus et des déchets fermentescibles ou non solubles ou non, qu'elles comportent.

La connaissance des propriétés physico-chimiques et de la biologie du sol a permis très rapidement d'utiliser le sol comme système d'épuration des eaux usées.

### **3-1-3 Les options d'adaptation du secteur agricole et les systèmes d'irrigation :**

L'agriculture irriguée utilise plus que 60 % des eaux consommées chaque année dans la région. Or, la moitié uniquement de toute l'eau retirée pour l'irrigation atteint les cultures. Le reste s'infiltre dans des canaux d'irrigation dépourvus de revêtement, s'échappe des canalisations ou s'évapore avant d'arriver dans les champs. Des systèmes d'irrigation mal conçus et faiblement construits ont limité les rendements sur la moitié des terres irriguées, en

---

<sup>62</sup> Source : INS 2005 op. cit.: -Taux d'urbanisation >80%.

-Tourisme (333 hôtels, 9 centres thalassothérapie, 5 casinos, 4 ports de plaisance,  
1 terrain de golf de 36 trous)  
-Industrie (850 entreprises).



effet il faut adapter des systèmes d'irrigation plus efficaces et convenables à la situation afin de garantir une bonne gestion de cette ressource (l'eau) et d'assurer la bonne production.

### **3-1-3-1 Des arrosages de surface ou en pluie :**

Ces systèmes d'irrigation différent et varient d'une zone à l'autre dans la région, les systèmes d'arrosages utilisés sont, le plus souvent, groupés en familles : le ruissellement, la submersion, l'infiltration et l'aspersion<sup>63</sup> et se manifestent comme de la manière suivante dans la région selon les modes d'exploitation et le genre de culture :

- 1-L'irrigation par déversement : Rigoles de niveau – Ados.
- 2-L'irrigation par submersion.
- 3-L'irrigation par sillons (à la raie).
- 4-L'irrigation par aspersion.
- 5-L'irrigation par cuvette.
- 6-L'irrigation par goutte à goutte.

### **3-1-3-2 Autres procédés d'économie d'eau d'irrigation**

- Extraction des cultures arbustives intercalaires.
- \_ Interdiction des cultures maraîchères intercalaires.
- \_ Emploi du paillage (couverture de plastique noir)
- \_ Élimination des mauvaises herbes notamment du chiendent et du cypérus.
- \_ Diminution des pertes dans les *séguías* amenant l'eau jusqu'à la parcelle à irriguer (Emploi de « *Séguías* » en ciment, des canaux en terre colmatés, par de l'argile ou de la chaux, ou recouverts de plastique, de tuyaux en ciment ou métalliques, enterrés, de fabrication locale avec vannes californiennes).
- \_ Des expériences récentes d'irrigation au goutte à goutte au Sahel semblent très encourageantes et prometteuses pour procéder une bonne économie de l'eau.

---

<sup>63</sup> DOMINIQUE, S. (1975). « Les bases de la production végétale », tome 1, collection Sciences et techniques agricole, Paris (FR.). p 253.

\_ Irrigation alternée <sup>64</sup>.

#### **4 Mesures de conservation du sol de l'érosion hydrique et éolienne :**

Les techniques de lutte contre l'érosion et l'aridité ont fait l'objet de nombreuses études. Il existe pourtant de nombreuses solutions inachevées mises au point pour des conditions particulières dans cette région.

##### **Les mesures proposées :**

La synthèse, basée sur l'état de l'érosion et de ses données, et l'interprétation de la situation globale en termes de facteurs d'ordre physiques, permet la formulation d'interventions préventives, curatives et protectrices.

#### **4-1 Les mesures préventives**

Ces mesures ont pour objectif de sensibiliser et prévenir la population locale des pratiques qui ne cessent d'amplifier la dégradation du milieu physique. Cette phase permet la modification et le réajustement concernant le déroulement de certains usages et activités en relation avec la gestion des ressources en sols. Des problèmes spécifiques à la zone d'étude sont liés aux façons et pratiques culturelles et nécessitent des mesures particulières. Il faut:

- \* Incorporer des engrais verts.
- \* Respecter le calendrier de préparation des terres destinées aux grandes cultures.
- \* Éviter le labour avec les charrues à disques.
- \* Imposer le labour en courbes de niveau.
- \* La bonne gestion des parcours en évitant le surpâturage est également nécessaire.
- \* L'utilisation des semences adaptées et résistantes à la sécheresse et à la salinité...

---

<sup>64</sup> Ibid.

#### 4-2 Les mesures curatives

Certains problèmes nécessitent la mise en place de mesures correctives adaptées aux conditions locale de la région; nous citons:

- \* L'installation de structure antiérosives (banquettes de retentions et correction des ravins).
- \* Le reboisement des forêts d'oliviers dégradées avec des espèces bien adaptés avec ce milieu
- \* L'amélioration des parcours par l'introduction des espèces productrices et protectrices.
- \* L'établissement d'un équilibre entre les superficies destinées aux parcours et le cheptel existant.

#### 4-3 Les mesures protectrices

- \* Appliquer le système de rotation des parcours pour répondre aux besoins du cheptel sur une période plus longue durant toute l'année.
- \* Parallèlement aux facteurs du milieu naturel, les facteurs liés au facteur socio-économique doivent être améliorés, tels que.
  - Intensification des séances de formation et de vulgarisation en vue d'améliorer leurs connaissances en matière de conservation / production.
  - Amélioration des revenus des familles concernées.

#### 5 Recommandations relatives aux pratiques culturelles

- \* Améliorer la structure du sol et surtout sa stabilité par des amendements organiques périodiques (fumures, organiques, engrais verts).
- \* Consacrer les fortes pentes aux parcours à base d'espèces pérennes ou arbustes fourragers pour les protéger contre toute forme d'érosion et de constituer une réserve pastorale durable.
- \* Pour la céréaliculture, se limiter aux plaines (Bouficha, Enfidha, Souassi) et aux talus à faible pente avec un labour en courbe de niveau.
- \* Installer des haies vives au tour des ravins, sur leur emprise pour limiter l'érosion des berges par les labours. Ces haies vives pourraient être à base d'espèces épineuses comme les cactus et l'acacia « *Elbernéa* » ou autre.

- \* Pour la préparation du sol, il est fortement recommandé d'employer les outils à dents et d'éviter les outils à disques qui pulvérisent le sol.
- \* Le travail du sol en bandes alternées est aussi une bonne alternative.
- \* Introduire la sole fourragère. Celle-ci améliore les propriétés physiques et chimiques du sol (Sulla, luzerne, Medicago).
- \* Vulgariser la culture de Sulla qui est une culture améliorante. Il laisse une grande quantité de matière organique et d'azote dans le sol, améliore sa structure et sa perméabilité et freine l'érosion. En plus, il constitue une réserve fourragère importante.
- \* Développer l'agroforesterie dans la zone en introduisant les plantations mellifères, les arbres à usage multiples et autres.
- \* Introduire l'agave pour consolider les ouvrages tels que les fascines et pour la création de seuils vivants. Cette plante existe en quantité dans la région et supporte bien les sols lourds.
- \* Même chose pour le laurier rose. Cette plante préfère les lieux humides, il convient donc de la planter en bordure des cours d'eau pour fixer et stabiliser.

### **5-1 La lutte contre l'érosion**

- \* Végétaliser les ravins avec des espèces à racines pivotantes (comme l'acacia, l'atriplex, la luzerne arborescente ... etc.).
- \* Correction des ravins: elle englobe les ouvrages (seuils déversoirs en pierres sèches, en maçonnerie en gabions, les murs de soutènement, etc.) et les plantations linéaires (végétalisation), pour lutter contre toutes les formes d'érosion linéaire en particulier le sapement de berges et le recul des têtes (érosion régressive).
- \* La plantation du cactus en courbe de niveau pour consolider les ouvrages
- \* La confection de bandes enherbées consolidées par des espèces pérennes ou par des arbustes sur les terrains menacés convient très bien aux sols de la zone.
- \* Confection de cordons en pierres sèches (ouvrage filtrant) là où les pierres sont abondantes.
- \* Installation des brise-vents.

## **5-2 Les brises vents :**

Elles sont des modifications climatiques favorables à la productivité des cultures ses effets sont :

### **5-2-1 La protection mécanique de l'érosion éolienne:**

Les vents en effet peuvent agir sur le sol et les végétaux en engendrant :

#### **\* L'action mécanique du vent sur les végétaux :**

- Limitation de la croissance en hauteur
- Chute des fruits, laceration des feuilles, d'où réduction de la photosynthèse
- Troubles de pollinisation, même avec des vents d'intensité moyenne <sup>65</sup>.
- Verse des céréales

**\* L'irrégularité de l'arrosage par aspersion :** Au-delà de 3 à 4 m/s, l'arrosage devient difficile, et inexécutable au-delà de 6 m/seconde.

**\* Les embruns salés en zones côtières :** Peuvent, en l'absence de brise-vent provoquer la brûlure des végétaux - surtout ceux inadaptés à ce milieu et dont leurs choix sont inappropriés -sur plusieurs dizaines de kilomètres, car les vitres des grands immeubles situés à mètres se couvrent de dépôts de sel au lendemain des journées de tempête.

### **5-2-2 La protection climatique assurée par les brise-vents est moins visible, mais plus importante :**

Les brise-vents, sont des haies naturelles ou bandes plantées, maintiennent de plusieurs manières la physiologie des plantes, et par là leur productivité :

- Limitent l'évapotranspiration potentielle

---

<sup>65</sup> Ibid. p. 254.

- Accroissent la température du sol et l'humidité de l'air
- Améliorent le rendement des productions végétales.

## **6 Amélioration des conditions de vie de la population**

- \* Encourager la population à réaliser des travaux de CES.
- \* Promotion de nouvelles activités productives favorisant l'amélioration des revenus et/ou conservatrices du milieu, tels que le développement des cultures irriguées.
- \* Introduire les activités artisanales pour la femme rurale notamment dans la zone Sud-ouest aride.
- \* Réaliser des sessions de formation pour les groupements d'individus concernant l'introduction des techniques ou système de production.
- \* Aménagement progressif et intégré avec et par la population concernée des aires prioritaires sélectionnées de cette région, en vue d'une utilisation et conservation durable des ressources naturelles.
- \* Réaliser des sessions de formation pour les groupements d'intérêt sous forme de chantiers de formation sur terrain pour appuyer la mise en œuvre des actions.

## **7 Formulation d'un plan de gestion du programme de contrôle de l'érosion et de la désertification**

La zone d'étude se trouve sujette à plusieurs contraintes liées à la productivité agricole, à la dégradation des ressources naturelles par les processus érosifs ou par l'utilisation de pratiques culturelles non appropriées et un aspect foncier caractérisé par le morcellement des parcelles. L'objectif du développement est l'aménagement amélioré de toute la région spécialement la zone aride en se basant sur les données des résultats des étapes précédentes. Plusieurs projets ont programmé et réalisé des activités de conservation ou des activités productives au Sahel. La réalisation des mesures correctives proposées nécessite des appuis de la part des autorités nationales et régionales. Dans ce sens, il faut:

- \* Réaliser des études spécifiques et détaillées pour chaque aire prioritaire dans la région (physique et socioéconomique);

\* Mettre en place un système de suivi/évaluation à caractère participatif au niveau local de chaque délégation de tout le Sahel, en vue d'apporter des ajustements et permettre l'évaluation des activités faites.

\* En collaboration avec les services techniques régionaux et/ou les institutions de recherche, installer dans les zones touchées par l'aridité des parcelles de démonstration en vue d'évaluation, consolider et l'ajuster des activités des projets précédents, particulièrement celles concernant les actions de production et de conservation des ressources naturelles. Il sera basé sur la réalisation d'un plan d'action comprenant les actions prioritaires retenues suivantes:

\* La production végétale: spéculation, rendement, façon culturale.

\* Le traitement des formes d'érosion les plus marquantes en nappe et ravinement.

\* La répartition des terres de terroir: occupation et mode d'exploitation et de gestion de l'espace et les mesures de protection et de production à entreprendre avec la population.

\* La gestion intégrée des bassins versants de la région particulièrement la zone interne au sud-ouest avec le soutien des programmes de développement internationaux pour un développement durable tels que le Nouveau Partenariat pour le Développement de l'Afrique (NEPAD) et le Fonds international de développement agricole (FIDA)...

## **RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES :**

### **1 Au niveau administratif :**

Après ce constat, on pourrait avancer les recommandations suivantes qui visent à établir une synergie entre la population locale et les services chargés de l'évaluation de la dégradation des terres, à conjuguer les efforts, à coordonner les actions à tous les niveaux local, régional et central tout en tenant compte de la leçon tirée du passé de tout ce qui a été réalisé en matière d'études, de recherches et de suivis.

1-1 Établissement d'un répertoire exhaustif des ressources naturelles en eau et en sol.

1-2 Bien étudier la situation foncière et l'évolution du statut des terres

1-3 Nécessité de renforcer au sein des institutions chargées de l'aménagement et de la conservation des terres, les services chargés de l'inventaire des sols et du suivi de la dégradation des terres, et ce, à tous les niveaux, central, régional et local.

1-4 Renforcement des services de recherche existants en prenant en considération l'aspect social, en se concentrant davantage sur le comportement des populations pour mettre au point les techniques de vulgarisation, conduisant à une meilleure motivation des populations, seuls garants d'une collaboration étroite entre techniciens et agriculteurs locaux.

## **2 Au niveau des adaptations et des pratiques :**

### **2-1 Options axées sur la demande d'eau :**

#### **\* La mobilisation de ressources hydriques conventionnelles :**

- La création de nouveaux barrages hydrauliques pour les eaux superficielles ;
- La création de nouveaux forages pour la mobilisation des aquifères profonds.

#### **\* La mobilisation de ressources hydriques non conventionnelles :**

- Dessalement de l'eau de mer pour l'approvisionnement en eau douce des villes ;
- Récupération et traitement des eaux usées pour l'irrigation et l'industrie ;
- Utilisation de l'eau saumâtre pour l'industrie ;
- Injection des eaux de surface dans les nappes souterraines.
- Amélioration de la couverture végétale favorisant la mobilisation des pluies
- Épuration des eaux usées et protection des ressources contre la pollution

### **2-2 Options axées sur les demandes d'eau :**

- Garder un système adaptable aux aléas et réduire structurellement la demande en mettant en ouvre un système d'approvisionnement qui devra être plus souple et flexible pour ne pas être trop vulnérable aux aléas climatiques, dès lors qu'on gère l'équilibre entre ressource et



demande sur le fil du rasoir. Pour plus de flexibilité, il ne suffira pas de faire des économies d'eau, mais la réduction de la demande devra passer par la résolution d'une politique d'assolements ou de remise en cause de l'importance de l'irrigation. Cet aspect nécessitera une réflexion commune entre les administrations agricoles de l'eau et de la production, et la mise en débat des conditions d'acceptabilité sociale des transformations structurelles proposées.

- Économies d'eau dans les grands secteurs consommateurs en industrie et en tourisme.
- Économies dans la consommation de l'eau potable par la révision de la tarification actuelle de l'eau potable (tableau 5.1) et la mise en œuvre d'une politique qui oriente généralement les décisions des consommateurs afin de réaliser une optimisation économique collective et de réduire l'exploitation excessive de cette ressource.

**Tableau 4.1 : Tarif de l'eau potable (2001).**

<b>Forfait : m3/Trimestre</b>	<b>Prix /m3</b>
1 - 20	135 Millimes*
21 - 40	215 Millimes
41 - 70	430 Millimes
71 - 150	650 Millimes
+ 151	+ 650 Millimes

Source : SONEDE. (2001). Gestion de la demande en eau -Prix de l'eau potable. Société Nationale de l'Exploitation et de la Distribution des Eaux. Tunis. p 18.

\* 100 Millimes : 90 Cent.

## **2-3 Options d'adaptation du secteur agricole**

### **2-3-1 Modifications des pratiques agricoles**

- Modification du calendrier agricole traditionnel
- Utilisation de semences choisies et choix de variétés adaptées au climat
- Reconversion et repositionnement des cultures

- Utilisation des types arbustifs adaptés à la sécheresse, à la salinité, aux écarts thermiques et à la carence des pluies, tels que les oliviers, les amandiers et les figuiers, etc. qui peuvent aussi réduire l'évapotranspiration.

### **2-3-2 Modifications des stratégies d'irrigation**

- Élargissement de l'irrigation : application de l'irrigation complémentaire.
- Intensification de l'irrigation : application de l'irrigation totale.
- Généralisation de techniques optimales d'irrigation.
- \* Protection des sols : Protection des sols contre l'érosion et la désertification
- \* La vérification que si les terres gagnées par l'irrigation, ne sont pas perdues ailleurs par la salinisation.
- \* Renforcement des capacités d'adaptation.
- \* Dissémination des connaissances (investissements dans la formation, l'encadrement, l'éducation et la sensibilisation).
- \* Réduction des incitations négatives (réduire les incitations négatives concernant les usages de l'eau) surtout en domaine touristique le cas du terrain de golf à Sousse, des hôtels et des centres thalassothérapie.

## CONCLUSION

L'examen des rapports des aspects des changements climatiques et de l'exploitation agricole au Sahel tunisien marque la présence de faits saillants, caractérisés principalement par l'amplification des besoins, la surexploitation et la pénurie des ressources en eaux, capables de mener à une situation de déficience, qui menace le développement économique de cette région et d'augmenter les concurrences entre les secteurs et entre les zones de cette région, si des mesures d'urgence ne seront pas prises.

La résolution de cette problématique a conduit à une transition de la politique actuelle de l'eau, d'une politique de mobilisation à une politique d'exploitation des ressources. Cette transition est imposée, d'une part, par la carence et la surexploitation et d'autre part, par l'orientation générale de la politique économique vers la libéralisation, l'intégration de l'économie nationale au marché mondial et la réhabilitation des forces du marché. Une telle orientation suppose une gestion rigoureuse des ressources productives qui ne saurait être certaine que par le fonctionnement dominé des mécanismes du marché. Face à l'exigence d'envisager une transition progressive vers une libéralisation de l'offre et de la demande des ressources en eau mobilisées, les stratégies nationales en Tunisie doivent connaître une modification profonde qui admet le passage d'une stratégie d'augmentation de l'offre à une stratégie de gestion d'économie d'eau, particulièrement dans le secteur agricole où l'eau est généralement perdue ou gaspillée.

Il se dégage après cette analyse du milieu physique et économique de la région du Sahel tunisien que les résultats des études sont loin d'être à la hauteur des travaux de CES, MARH, MEDD, GIH... d'aménagement contre les changements climatiques et ses conséquences (sécheresse, érosion et aridité, etc.) et ce, pour plusieurs raisons justifiant cet échec :

- Le manque de coordination entre les différentes institutions est apparent à travers ces études qui se chevauchent et manquent de complémentarité.
- Les études sont souvent analytiques et descriptives n'aboutissant pas à établir des relations entre les causes et les effets de la dégradation.

- Elles sont nombreuses, se basant souvent sur les simples observations, négligeant souvent les mesures opérationnelles.
- Quelques résultats de recherche et d'expérimentation ne sont pas suffisamment vulgarisés auprès des agriculteurs. Leur vulgarisation par les multiples rencontres scientifiques s'arrête au niveau des techniciens et des ingénieurs.
- La plupart des institutions de recherche et de développement se sont concentrées particulièrement sur la production agricole négligeant la gestion des ressources naturelles.
- Les études de recherche sont limitées si l'on excepte les projets de recherche sur la salinisation des sols et l'érosion particulièrement dans la zone sud-ouest du Sahel.
- La coordination entre les services de la production végétale et les services de CES a fait souvent défaut. La lutte antiérosive a été physique (« *Tabia* », cordons, etc.) et parfois une reconversion de l'occupation des sols. (Ex. : Conversion des pentes labourées en terres arboricoles ou de parcours, adaptation des assolements pour limiter l'érosion).

Ces procédés de mise en valeur de cette région doivent être orientés vers une production durable malgré les aléas climatiques, ils doivent être adaptés et capables d'assurer une production pour satisfaire les besoins de la population. Ces procédés à retenir doivent non seulement assister à développer la production, mais ils doivent être durables sans épuisement des ressources naturelles.

## **BIBLIOGRAPHIE**

### **Monographie:**

- ABDELKEFI, A., BOUSSAID, M., MARRAKCHI, M. (1997). Érosion génétique en milieu aride en Tunisie. Faculté des sciences, Tunis, (TUN). pp. 27, 73-78.
- ATTIA, R. et AGREBAOUI, S. (2001). Contrôle de l'érosion et de la désertification dans les bassins versants pilotes en Algérie, au Maroc et en Tunisie, Cas de l'oued Lbna, Centre d'Activités Régionales (PAP), p 24.
- BONVALLOT, J., (1992). « Plaidoyer pour les *jessour* », In : Le Floc'h E., Grouzis M., Cornet A., Bille J. Éditions de l'ORSTOM, Coll. "Didactiques", Paris, p. 507-517.
- BURTON, I. (1996). «The growth of adaptation capacity: practice and policy In: Adapting to Climate Change: An International Perspective». Springer-Verlag, New York, NY, USA. p. 55-67.
- CHAABOUNI, Z., (1991). Les aménagements hydrologiques traditionnels de récolte des eaux de ruissellement "*Meskat*" et la lutte contre l'érosion hydrique des sols. Revue Géographie et Développement n° 11-1991, p 116-134.
- COLOMBANI, J., OLIVRY, J-C, KALLEL, R. (1984). Phénomènes exceptionnels d'érosion et de transport solide en Afrique aride et semi-aride, Walling, D.E. (éd.); AIHS Publication (FRA), p. 295-300.
- DESPOIS J. (1955). La Tunisie orientale : Sahel et la basse steppe. Études

géographiques, PUF, Paris. p. 334.

- DOMINIQUE, S. (1975). Les bases de la production végétale, tome I, collection Sciences et techniques agricole, Paris. (FR). P. 253-254.
- DEMOLON, A. (1968). Croissance des végétaux cultivés, édition Dunod Paris, pp. 8, 130.
- El AMAMI, S. (1984). Les aménagements hydrauliques traditionnels en Tunisie, traduit de l'Arabe, République tunisienne, Centre de Recherche du Génie Rural de Tunisie, Tunis, p. 69.
- FERSI M. (1979). Estimation du ruissellement moyen annuel sur les bassins du Sud- est, du Sud-ouest et du Sahel. Tunis : Direction Générale des Ressources en Eau, p 10.
- GHORBEL, A. (1991). Guide pratique des calculs hydrologiques. : Direction Générale des Ressources en Eau (DG/RE); Note technique: Ministère de l'Agriculture, Tunis, (TUN), p. 61.
- HACHICHA, M., PONTANIER, R., DRIDI, B. (1996). Comportement de sols argileux irrigués sous pluies simulées : rôles des organisations superficielles pour le lessivage des sols et leur érodibilité dans le choix du mode d'irrigation, Ministère de l'Agriculture, (Études Spéciales - Direction des Sols), p. 22.
- HASSINE, S. (1985). Les aménagements hydrauliques traditionnels *Meskat* et *Jessour* en Tunisie», document-dossier du stage E8, Ministère de l'Agriculture, Tunis. (TUN).
- MARGAT. J., TREYER. S., (2004). L'eau des Méditerranéens : situations et

perspectives. Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, Plan Bleu PNUE/PAM, Sophia-Antipolis, p. 347.

- MARGAT J., VALLÉE D. (1999). Water resources and uses in the Mediterranean Countries: figures and facts. Ressources en eau et utilisations dans les pays méditerranéens, repères et statistiques. PNUE. PAM. Plan Bleu. Regional Activity Centre. Valbonne – France p 47-59.
- PONCET, J. (1962). Les rapports entre les modes d'exploitation agricole et l'érosion des sols en Tunisie, Secrétariat d'État à l'Agriculture, Études et Mémoires n°2, Tunis, (TUN).
- PONTIER, R., FLORET C., EMBERGER, L. (1982). L'aridité en Tunisie présaharienne, climat, sol, végétation et aménagement. Paris : Orstom éditions, p 541.
- ROCHE, M. (1963). Hydrologie de surface. Office de Recherche Scientifique et Technique d'Outre-mer, Paris, Gautier-Villars. p 429-431.
- SABOURIN, L. et FROMAGE, M., (1975). Dans votre jardin des légumes toute l'année, édit. Flammarion, (FR). pp. 83,590.
- STUCKMANN, G. et PIAS, J., (1970). Les effets morphologiques des inondations de septembre-octobre 1969 dans le centre et le Sud de la Tunisie, Tunisie : les inondations de septembre-octobre 1969 en Tunisie, UNESCO, Paris (FR), p 27-51.
- TREYER.S. (2002). Analyse des stratégies et perspectives de l'eau en Tunisie. Rapport I : Monographie de l'eau en Tunisie. Rapport II : Perspective de l'eau en Tunisie, Étude réalisée par le Plan Bleu, PNUE, Sophia-Antipolis, p.83.

### **Sites Internet:**

- CENTRE DE RECHERCHES POUR LE DÉVELOPPEMENT  
INTERNATIONAL-Canada (CRDIC): ([www.idrc.ca](http://www.idrc.ca)). Page consultée le 12  
février 2008.
- GROUPE DE RECHERCHE EN ÉCOLOGIE FORESTIERE  
INTERUNIVERSITAIRE (GREFI), La capacité adaptative de l'aménagement  
forestier face au feu. Réseau de Gestion Durable des Forêts. ([www.ouranos.ca](http://www.ouranos.ca)).  
Page consultée le 17 novembre 2006.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPPC).  
([www.ipcc.ch/pdf/assessment-report](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report)). Page consultée le 25/12/2007.
- NATHALIE, R., (2007), Note de travail 24/2007 : Le commerce international  
comme stratégie d'adaptation à la rareté des ressources hydriques,  
([http://webu2.upmf-grenoble.fr/iepe/textes/NR-NT24\\_Rabat2007.pdf](http://webu2.upmf-grenoble.fr/iepe/textes/NR-NT24_Rabat2007.pdf)).  
Page consultée le 29/03/2007
- THE LAB-AUSTRALIEN BROADCASTING CORPORATION'S GATEWAY TO  
SCIENCE (ABC GS), news in science. ([www.abc.net.au/science/news/](http://www.abc.net.au/science/news/)).  
Page consultée le 19/02/2008.
- SMITH et AL. (2001). Climate Change: The Scientific Basis. Impacts, Adaptation  
and Vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).  
([www.grida.no/climate/ipcc](http://www.grida.no/climate/ipcc)). Page consultée le 19 Janvier2008.

### **-Articles:**

- DOWNING, A. (1997). «Abstract, Annual Review of Ecology and Systematics»,  
Vol. 28; p. 467- 494.



- MEUBLAT. G., LELOURD P., (2001). « Les agences de bassin : un modèle français de décentralisation pour les pays émergents ? La rénovation des institutions de l'eau en Indonésie, au Mexique et au Brésil », Revue Tiers Monde, n° 166, avril-juin, p. 375-401.
- TREYER. S., (2001), « Enjeux déterminants à long terme pour la gestion de l'eau : importance de la dimension territoriale », Revue d'économie méridionale, Vol. 49, n°194-195, pp. 225-235.

**-Publications gouvernementales:**

- AGENCE NATIONALE DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT. (1998).  
Rapport national sur l'état de l'environnement. Tunis : Agence Nationale de Protection de l'Environnement. p 121.
- AGENCE NATIONALE DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT. (1996).  
Rapport National sur l'État de l'Environnement ; Tunis : Agence Nationale de Protection de l'Environnement, p 119.
- CENTRE DE RECHERCHE ET DU DÉVELOPPEMENT AGRICOLE DE SOUSSE, 1997. Étude du périmètre irrigué de *Bouficha* à partir du barrage d'*Ermel*. Sousse, (TUN) p 68.
- COMMISSARIAT RÉGIONAL DE DÉVELOPPEMENT AGRICOLE DE SOUSSE, (2004). Rapport annuel, Bilan de l'agriculture 2004. Ministère de l'Agriculture, Commissariat Régional de Développement Agricole de Sousse (TUN). pp. 6, 11
- COMMISSARIAT RÉGIONAL DE DÉVELOPPEMENT AGRICOLE DE SOUSSE, (2003). Rapport annuel. Bilan de l'agriculture année 2003. Ministère de

l'Agriculture, Commissariat Régional de Développement Agricole de Sousse (TUN). p. 6.

- COMMISSARIAT RÉGIONAL DE DÉVELOPPEMENT AGRICOLE DE SOUSSE, (1995). Rapport annuel. Bilan de l'agriculture année 1995. Ministère de l'Agriculture Commissariat Régional de Développement Agricole de Sousse (TUN). p. 7.
- DIRECTION DE LA PLANIFICATION DES EAUX ET DES ÉTUDES HYDRAULIQUES. (2001). Amélioration de la qualité des eaux de la retenue de *Rmel*, Direction de la Planification des Eaux et des Études Hydrauliques, (TUN). p 320.
- DIRECTION GÉNÉRALE DES ÉTUDES ET TRAVAUX HYDROAGRIQUES (1992). Aménagement hydroagricole du Périmètre *Rmel* à Bouficha, Direction Générale des Études et Travaux Hydrauliques, (TUN). p 190.
- INSTITUT NATIONAL DE LA MÉTÉOROLOGIE, (2004). Bulletins de renseignements météorologiques pour l'agriculture. Division de la Météorologie Économique, Service Agro-météorologie, Tunis (TUN). p. 2-4
- INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE. (2005). Rapport annuel 2005, Institut National de la Statistique - INS, Sousse, (TUN). pp. 6, 8.
- ----- (2004). Rapport annuel 2004, Institut National de la Statistique - INS, Sousse, (TUN). p. 3-4.
- ----- (2000). Rapport annuel 2000, Institut National de la Statistique - INS, Sousse, (TUN). p. 5-7.
- ----- (1997). Rapport annuel 1997, Institut National de la Statistique - INS, Sousse,

(TUN). pp. 2, 5.

- MINISTERE DE L'AGRICULTURE. (2002). Annuaire de l'exploitation des nappes profondes, Direction Générale des Ressources en Eau. (TUN). p. 373.
- -----, (1996). Rapport sur l'état des nappes phréatiques et profondes de la Tunisie. Ministère de l'Agriculture. Tunis, (TUN). p. 7-9.
- ----- (1993). Rapport : les ressources en eau et environnement, Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE), Ministère de l'Agriculture (TUN), p 9-12.
- MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'AMÉNAGEMENT DE TERRITOIRE. (1993). Rapport National: L'état de l'environnement. Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement de Territoire. Tunis, (TUN).
- OFFICE NATIONAL DE L'HUILE, (2002), Prévisions : pour l'année 2002. Ministère de l'Agriculture, ONH, (TUN)
- SONEDE. (2001). Gestion de la demande en eau -Prix de l'eau potable. Société Nationale de l'Exploitation et de la Distribution des Eaux. Tunis. p 18.
- UNION NATIONAL DE L'AGRICULTURE ET DE LA PÊCHE (2006).  
«*TOUNES EL KHADRA* (تونس الخضراء)», Union National de l'Agriculture et de la Pêche, N 224-03-2006.Tunis (TUN).

**-Mémoires/thèses:**

- MAHER, M. (1995). Le climat agricole et son importance dans la diversification agricole en Tunisie. " المناخ الزراعي في تونس و أهميته في تنوع الزراعة ". Mémoire de Licence, université ouverte, Tripoli, Lybie, p. 29-58.

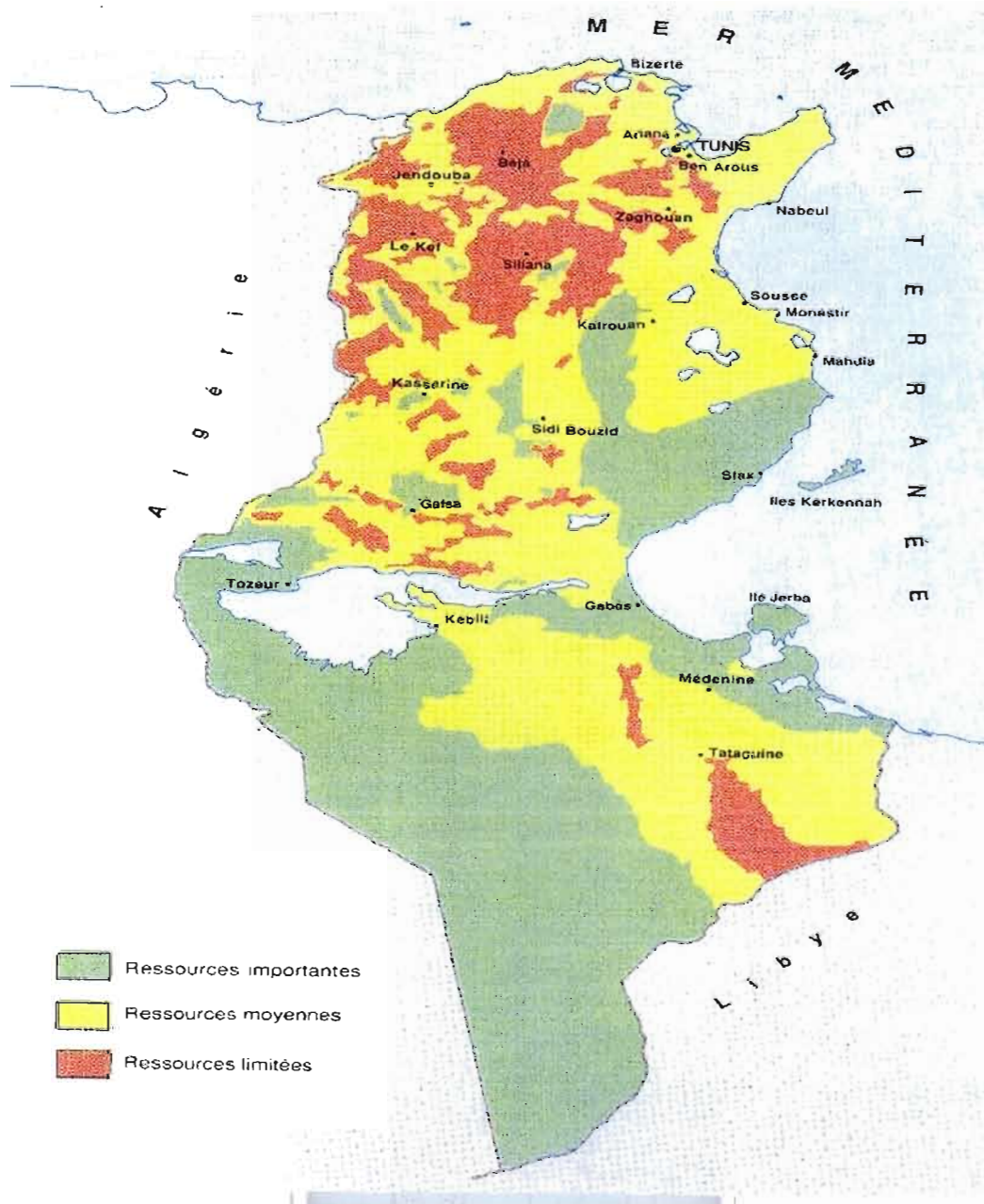
- NASRI, S. (2002). Hydrological effects of water harvesting techniques. Thèse de l'Université de Lund (Suède), p 67-71.
- TAGINA, S. (2001). Modélisation mathématique des transferts couplés d'eau et de masse en 3D dans les aquifères. Application aux nappes stressées du Sahel tunisien, Thèse de Doctorat, Université de Tunis, El Manar, (TUN). p 281.

**-Articles d'encyclopédies et dictionnaires:**

- DAR EL-MACHREQ, (1971), Le dictionnaire arabe-français, al-farâ'id. Édition Dar El-Machreq publishers, Beirut, Lebanon.
- JEAN-MICHEL, C., (1981), Larousse Agricole. Librairie Larousse. Paris. (FR).
- LE PETIT ROBERT, (1987), édition du Petit Robert. Paris. (FR).
- ROCHE, M., (1986), Dictionnaire Français d'Hydrologie de surface, Masson, Paris. (FR)

## **Annexe I**

**Carte A.I.I : Nappes souterraines de la Tunisie**



Source: Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement de Territoire, 1993, (Échelle : 1/40 000).

## **Annexe II**

**Tableau II.I : Thèmes et sous thèmes du guide d'entrevue**

Thèmes	Sous-thèmes
Concept et impact des changements climatiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Causes des changements climatiques</li> <li>- Conséquences et impacts des changements climatiques sur l'agriculture</li> </ul>
Stratégies d'adaptations possibles	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adaptation à appliquer pour réduire ces impacts</li> <li>- Connaissance des documents d'adaptation de réduction des impacts des changements climatiques</li> <li>- Différences et ressemblances avec autres programmes d'adaptation</li> <li>- Forces et faiblesses de toutes les adaptations</li> <li>- Bilan des adaptations.</li> </ul>
Rôle des institutions	S / O

**Tableau II. II : Modes d'exploitation des systèmes agraires**

Modes d'exploitations	La région du Sahel
Agriculture sous-abri	
Cultures annuelles en irrigué, maraîchage	
Arboriculture en irrigué	
Cultures annuelles en sec	
Arboriculture en sec	
Obéi culture	

(A : Forte présence, B : Présence moyenne, C : Très faible à inexistant)



**Tableau II. III : Problématiques dans les systèmes agraires**

<b>Problématiques</b>	<b>Zone Sud-ouest</b>	<b>Zone côtière Est</b>
Inadéquation entre ressources en eau disponibles et périmètres irrigués : Surexploitation Nappes		
Irrigation à l'eau saumâtre et salinisation des sols		
L'agriculture de ruissellement et les problèmes d'entretien des aménagements hydrauliques		
Extension de l'agriculture au détriment des parcours		
L'arboriculture dans les steppes sableuses et l'érosion éolienne		
Mauvaise affectation des terres		
Le parcours face au surpâturage		
L'extension de la mise en culture au détriment du couvert végétal et des parcours		

(**A** : Forte présence, **B** : Présence moyenne, **C** : Très faible à inexistant)

**Tableau II. IV : Les lois et les décrets relatifs à l'exploitation et à la gestion des ressources en eau**

<b>LOIS</b>	<b>COMMENTAIRES</b>
Loi n° 68-33 de 1968.	Création du SONEDE et définit ses responsabilités et ses tâches.
Loi 75/16	Concerne le code de l'eau.
Loi 17 juillet 1995	Concerne la conservation des eaux.
Loi 95-70 au niveau national	Création du conseil pour la conservation des eaux.
Décret 86-56 du 2 janvier 1986	Concerne la gestion des eaux usées
Décret 79-768 du 8 septembre 1979 complété par le décret 94-1885 du 12 septembre 1994.	Concerne la gestion des eaux usées, la réglementation sur les conditions de rejet des eaux usées autres que les eaux usées domestiques dans le réseau public sous la responsabilité de l' ONAS.
Décret 94-2050 du 3 octobre 1994	Gestion des eaux usées, établissement des conditions de raccordement au réseau public d'égouts situé dans les secteurs sous la responsabilité de l'ONAS.
Loi 75-16 du 31 mars 1975.	Autorisation des eaux usées pour usage agricole seulement après un traitement approprié dans des stations d'épuration.
Décret 93 2447 du 23 décembre 1993 modifiant le Décret 89-1047 du 28 juillet 1989	Établissement des conditions d'utilisation des eaux usées traitées soumises à autorisation et les analyses physico-chimiques à réaliser.
Circulaire du 21 juin 1995	Fournit une liste des récoltes pouvant être irriguées avec les eaux usées traitées.